PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

TEMA DE DISERTACIÓN DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

“APLICACIÓN DE LA METOLOGÍA LRFD, PARA EL CÁLCULO DE CARGA EN MICROPILOTES, EN EL CIERRE DEL ANILLO VIAL 69KV EN LA PROVINCIA DE SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS.”

CECIBEL CAROLINA ROMAN ROMERO

TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL.

QUITO, 2020

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS *2*
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES *6*
ÍNDICE DE TABLAS *8*
ÍNDICE DE GRÁFICOS *9*
ÍNDICE DE ECUACIONES *10*
CAPÍTULO I *11*
GENERALIDADES **11**
1.1 Justificación **11**
1.2 Planteamiento del problema **11**
1.3 Localización geográfica **12**
1.3.1 Descripción general 12
1.4 Objetivos **18**
1.4.1 Objetivo general 18
1.4.2 Objetivos específicos 18
1.5 Alcance **18**
1.6 Marco teórico **19**
1.6.1 Antecedentes o marco referencial 19
1.7 Marco conceptual **19**
1.7.1 Micropilotes 19
1.7.2 Desarrollo Histórico 19
1.7.3 Usos de los Micropilotes 20
1.7.4 Clasificación de Micro-pilotes 21
1.7.5 Tipos de Micro-pilotes 22
1.8 Métodos de cálculo para Micropilotes **24**
1.9 Metodología para el diseño geotécnico LRFD **24**
1.9.1 Diseño geotécnico 24
1.9.2 Resistencia de la punta del pilote, R_p 26
1.9.3 Capacidad a punta unitaria del pilote (qp), para ARCILLAS. 27
1.9.4 Resistencia de punta unitaria del pilote qp , para ARENAS. 28
1.9.5 Resistencia nominal por fricción, Rs 29
1.9.6 Capacidad a fricción (q_s), para ARCILLAS. 30
1.9.7 Capacidad a fricción (q_s), para arenas 30
1.10 Asentamientos de pilotes **34**
1.10.1 Asentamiento de pilote individual para arena y arcillas 34
1.11 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO **37**
1.11.1 EXPLOTACIÓN DE SUELOS 37
1.11.2 ENSAYOS EN LABORATORIO 38
1.11.3 ENSAYOS IN SITU 39
2 CAPÍTULO II *40*

PARÁMETROS PARA IDENTIFICAR Y CLASIFICAR SUELOS 40

2.1 Granulometría en suelos 40

2.2 Sistemas de clasificación de suelos basados en criterios de granulometría. 40

2.3 Clasificación del suelo 40

2.3.1 Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) 41

2.4 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS 46

2.4.1 Límites de atterberg 46

2.4.2 Límite Líquido 46

2.4.3 Límite Plástico 47

2.4.4 Índice de Plasticidad 48

2.4.5 Ángulo de fricción interna (Φ) 50

2.4.6 Cohesión 50

2.4.7 Peso específico 51

2.4.8 Contenido de humedad óptima 52

2.4.9 Densidad de suelos 52

2.4.10 Contenido de Humedad (W%) 52

2.4.11 Densidad seca (d_S) 53

2.4.12 Densidad sumergida (d_i) 53

2.4.13 Gravedad específica 53

2.4.14 Nivel freático 53

2.5 Ensayo normal de penetración 55

2.5.1 Descripción Metodología 55

2.6 Correlación 55

2.6.1 Coeficiente de correlación 55

2.6.2 Coeficiente de correlación de Pearson 56

2.6.3 Coeficiente de correlación de Spearman 56

3 CAPÍTULO III 57

ENSAYOS DEL LABORATORIO 57

3.1 Ensayos de campo 57

3.1.1 Ensayo de penetración estándar (SPT) 58

3.1.2 Perforaciones en Campo 63

3.2 Resumen de datos obtenidos en campo. 74

3.2.1 Caracterización de suelos encontrados 74

4 CORRELACIONES IV 75

4.1 EVALUACIÓN DE DATOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO 77

4.2 ELABORACIÓN DE GRAFICAS DE CORRELACIONES 80

4.2.1 Datos generales 81

4.2.2 Correlación Nspt vs cohesión 82

4.2.3 Correlación Nspt vs ángulo de fricción 82

4.2.4 Correlación Nspt vs peso específico 83

4.2.5 Correlación N60 vs cohesión 83

4.2.6 Correlación N60 vs ángulo de fricción 84

4.2.7 Correlación N60 vs peso específico 84

5 CAPÍTULO V 85

DISEÑO DE PILOTES 85

5.1 DESARROLLO DEL PROGRAMA PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE CARGA EN EL PILOTE 85

5.2 Ecuaciones de correlaciones: 87

5.3 Cálculo de capacidad pilotes pre barrenados 88

5.4 Capacidad a fricción (q_S) 88

5.4.1 Método α 88

5.5 Capacidad a punta (q_p) 89

5.5.1 Método de Bowles (2010) 89

5.6 Cálculo de diseño de pilotes 90

5.6.1 Resistencia nominal por fricción, Rs 90

5.6.2 Resistencia nominal a punta del pilote, Rp 90

5.6.3 Resistencia admisible del pilote, Rs 90

5.6.4 Factores de reducción para pilotes hincados 91

5.7 Resultados obtenidos del primer pre diseño de pilotes. 91

5.7.1 Vértice 1 – Tramo La Cadena – Quevedo; diámetro 0.5. 92

5.7.2 Vértice 10 tramo Trans Electric– La cadena; diámetro 0.5. 93

5.7.3 Subestación Quito; diámetro 0.5. 94

5.7.4 Vèrtice 1 – Tramo La Cadena – Quevedo; diámetro 0.6. 95

5.7.5 Vértice 10 tramo Tran Electric– La cadena; diámetro 0.6. 96

5.7.6 Vértice 1 – Tramo La Cadena – Quevedo; diámetro 0.7. 98

5.7.7 Vértice 10 tramo Tran Electric– La cadena; diámetro 0.7. 99

5.7.8 Subestación Quito; diámetro 0.7. 100

5.8 Calculo de asentamientos 101

5.8.1 Asentamiento de pilotes, St 101

5.8.2 Vértice 1 – Tramo La Cadena – Quevedo 103

5.8.3 Vértice 10 tramo Tran Electric– La cadena 103

5.8.4 Subestación Quito 104

5.8.5 Vértice 1 – Tramo La Cadena – Quevedo 104

5.8.6 Vértice 10 tramo Trans Electric– La cadena 105

5.8.7 Subestación Quito 105

5.8.8 Vértice 1 – Tramo La Cadena – Quevedo. 0.7 106

5.8.9 Vértice 10 tramo Tran Electric– La cadena 106

5.8.10 Subestación Quito 107

5.9 Evaluación comparativa de Q adm para diámetro 0.5 m. 108

5.10 Evaluación comparativa de Q adm para diámetro 0.6 m. 108

5.11 Evaluación comparativa de Q adm para diámetro 0.7 m. 109

5.12 Evaluación comparativa de asentamientos para diámetro 0.5 m. 109

5.13 Evaluación comparativa de asentamientos para diámetro 0.6 m 110

5.34 Evaluación comparativa de asentamientos para diámetro 0.7 m. 110

5.35 Gráfico comparativo de Qadmisible 111

5.36 Gráfico comparativo de asentamientos 112

CAPÍTULO VI *113*
CONCLUSIONES *113*
CAPÍTULO VII *115*
RECOMENDACIONES *115*
TRABAJOS CITADOS *116*
ANEXOS *119*

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Ubicación Santo Domingo Fuente: Google maps 12
Ilustración 2: Ubicación del proyecto. Vértice centenario – quito 13
Ilustración 3: Ubicación del proyecto. Vértice La cadena - Quevedo 14
Ilustración 4:Ubicación del proyecto. Vértice Quevedo – intersección Arca..... 15
Ilustración 5: Ubicación del proyecto. Transelectric – la cadena 16
Ilustración 6: Ubicación del proyecto. Vértice El Arca – El Carmen..... 17
Ilustración 7: Pasos básicos para la construcción de un micropilote **Fuente:** (Bruce, 1989).... 21
Ilustración 8: Barra Gewi **Fuente:** (Mascardi, 1982) 23
Ilustración 9: Pila de Raíz con la base expandida **Fuente:** (Ellis I. , 1985)..... 23
Ilustración 10: Capacidad última de carga del pilote Fuente: (Braja M, 2001)..... 25
Ilustración 11: Factores de resistencia geotécnica para pilotes pre barrenados Fuente: (AASHTO, 2004) 26
Ilustración 12: Secciones del pilote Fuente: (Braja M, 2001) 27
Ilustración 13: Valores máximos de Nq* vs ángulo de fricción del suelo Fuente: (Braja M, 2001) 29
Ilustración 14: Compactación de arena cercana al pilote hincado Fuente: (Braja M, 2001)..... 30
Ilustración 15: Resistencia unitaria de fricción de pilotes en arena. Fuente: (Braja M, 2001)..... 31
Ilustración 16: Deformación unitaria Fuente: (Braja M, 2001) 36
Ilustración 17: Coeficiente empírico Fuente: (Braja M, 2001)..... 36
Ilustración 18: Límetes de Atterberg. **Fuente:** *Infante, 2013* 46
Ilustración 19: Determinación del límite líquido **Fuente:** Sánchez,2019..... 47
Ilustración 20: Procedimiento para determinar límite plástico. **Fuente:** Sánchez,2019..... 48
Ilustración 21: Gráfico de plasticidad de Casagrande - Recta A **Fuente:** Sánchez,2019..... 49
Ilustración 22: Gráfico de plasticidad de Casagrande - Recta B **Fuente:** Sánchez,2019 49
Ilustración 23: Gráfico de plasticidad de Casagrande **Fuente:** Sánchez,2019 49
Ilustración 24: Gráfico de plasticidad de Casagrande **Fuente:** Sánchez,2019 50
Ilustración 25: coeficiente de correlación de Pearson**.** **Fuente:** (Mamani, 2017)Además de esta ilustración podemos observar que para (Lahura, 2003) existen los siguientes grados de correlación entre las variables. 56
Ilustración 26: Grado de Correlación entre las variables. **Fuente:** (Lahura, 2003)..... 56
Ilustración 27: *Cuchara Partida.* ***Fuente:*** (Das Braja, 2012) 58
Ilustración 28: Tubo tipo Shelby **Fuente:** (Das Braja, 2012) . 58
Ilustración 29: Correlación del Nspt Vs Cohesión **Fuente:** (Kumar, Bhargava, & Choudhury, 2016) 75
Ilustración 30: Ángulo de fricción para suelos cohesivos **Fuente:** (Rahman, 2019)..... 76
Ilustración 31: Correlación del Nspt Vs peso específico **Fuente:** (Rodríguez Herrera, 2015)... 76
Ilustración 32: Cuadro de datos del diseño de pilotes para diámetro 0.5 m. 92
Ilustración 33: Cuadro de datos del diseño de pilotes para diámetro 0.5 m. 93
Ilustración 34: Cuadro de datos del diseño de pilotes para diámetro 0.5 m. 94
Ilustración 35: Cuadro de datos del diseño de pilotes para diámetro 0.6 m. 95
Ilustración 36: Cuadro de datos del diseño de pilotes para diámetro 0.6 m. 96
Ilustración 37: Cuadro de datos del diseño de pilotes para diámetro 0.6 m. 97
Ilustración 38:Cuadro de datos del diseño de pilotes para diámetro 0.7 m. 98
Ilustración 39: Cuadro de datos del diseño de pilotes para diámetro 0.5 m. 99

Ilustración 40: Cuadro de datos del diseño de pilotes para diámetro 0.7 m 100
Ilustración 41: Cálculo de asentamientos para diámetro 0.5m 103
Ilustración 42: Cálculo de asentamientos para diámetro 0.5m 103
Ilustración 43: Cálculo de asentamientos para diámetro 0.5m 104
Ilustración 44: Cálculo de asentamientos para diámetro 0.6m 104
Ilustración 45: Cálculo de asentamientos para diámetro 0.6 m. 105
Ilustración 46: Cálculo de asentamientos para diámetro 0.6m 105
Ilustración 47: Cálculo de asentamientos para diámetro 0.7 m 106
Ilustración 48: Cálculo de asentamientos para diámetro 0.7 m 106
Ilustración 49: Cálculo de asentamientos para diámetro 0.7m 107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de micro-pilotes según diferentes autores. **Fuente:** Elaborado por Cecibel Román 22
Tabla 2: Clasificación general de los suelos según sus propiedades mecánicas. Fuente: Elaborado por Cecibel Román. 54
Tabla 3: Variación de nH 61
Tabla 4: Variación de nB 61
Tabla 5: Variación de nS 62
Tabla 6: Variación de nR 62
Tabla 7: Hoja de datos contenido de humedad 65
Tabla 8: Hoja de datos para ensayo granulométrico. **Fuente:** Elaborado por Cecibel Román 68
Tabla 9: Hoja de datos para ensayo Límite Líquido. **Fuente:** Elaborado por Cecibel Román 69
Tabla 10: Prefijos empleados por el sistema unificado SUCS. **Fuente:** (Das Braja, 2012) 72
Tabla 11: Sufijos por el Sistema Unificado SUCS **Fuente:** (Das Braja, 2012) 72
Tabla 12: Lista de chequeo para cohesión 77
Tabla 13: Lista de chequeo para ángulo de fricción 78
Tabla 14: Lista de chequeo para peso específico. 79
Tabla 15: Datos generales obtenidos en el laboratorio y en campo. 81
Tabla 16:Gráfico comparativo de Qadm vs profundidad (m) para diámetro 0.5m. 108
Tabla 17: Gráfico comparativo de Qadm vs profundidad (m) para diámetro 0.6m. 108
Tabla 18: Gráfico comparativo de Qadm vs profundidad (m) para diámetro 0.7m. 109
Tabla 19: Gráfico comparativo de asentamientos vs profundidad (m) para diámetro 0.5m..... 109
Tabla 20: Gráfico comparativo de asentamientos vs profundidad (m) para diámetro 0.6m..... 110
Tabla 21: Gráfico comparativo de asentamientos vs profundidad (m) para diámetro 0.7m..... 110
Tabla 22: Gráfico comparativo Qadm, diámetro 0.5, 0.6, 0.7. 111
Tabla 23: Gráfico comparativo asentamientos diámetro 0.5, 0.6, 0.7. 112

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Correlación Nspt vs cohesión 82
Gráfico 2: Correlación Nspt vs ángulo de fricción 82
Gráfico 3: Correlación Nspt vs peso específico 83
Gráfico 4: Correlación N60 vs cohesión 83
Gráfico 5: Correlación N69 vs ángulo de fricción 84
Gráfico 6: N60 vs peso específico 84

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Resistencia factorada de un pilote 24
Ecuación 2: Resistencia nominal por la punta del pilote 25
Ecuación 3: Resistencia nominal por fricción del pilote 25
Ecuación 4: Resistencia en la punta del pilote 26
Ecuación 5: Área de la sección transversal 27
Ecuación 6: Resistencia de punta unitaria del pilote 27
Ecuación 7: 27
Ecuación 8: Resistencia de punta del pilote 28
Ecuación 9: Resistencia a la fricción 29
Ecuación 10: Área de la superficie de contacto 29
Ecuación 11: Resistencia a la fricción 30
Ecuación 12: Asentamiento total del pilote 34
Ecuación 13: Asentamiento elástico del pilote 35
Ecuación 14: Asentamiento por la carga en la punta del pilote en arenas 35
Ecuación 15: Asentamiento por la carga en la punta del pilote en arenas 35
Ecuación 16: asentamiento por la carga transmitida a lo largo del fuste del pilote en arenas 35
Ecuación 17: asentamiento por la carga transmitida a lo largo del fuste del pilote en arenas 35
Ecuación 18: Constante empírico 36
Ecuación 19: Peso específico 52
Ecuación 20: Densidad de suelos 52
Ecuación 21: Contenido de humedad 52
Ecuación 22: Densidad seca 53
Ecuación 23: Gravedad específica 53
Ecuación 24: Número de penetración estándar. 60
Ecuación 26: Porcentaje de agua 65
Ecuación 27: Masa de agua contenida 65
Ecuación 28: Masa de muestra seca 68
Ecuación 29: Masa retenida acumulada 68
Ecuación 30: Límite de plástico 71
Ecuación 31: Fracción de arena 73
Ecuación 32: Fracción Grava 73
Ecuación 33: Fracción total del suelo grueso 73
Ecuación 34: Porcentaje de arena 73

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Justificación

En la actualidad los micropilotes constituyen una de las herramientas más utilizadas para la cimentación de grandes obras de ingeniería civil, submuración de edificios y fundación de viviendas que así lo requieran.

En la ciudad de Santo Domingo, de acuerdo con estudios del suelo, se recomienda el uso de cimentaciones profundas en la construcción de la fundación de edificaciones, sin embargo, los moradores de esta zona no siguen estas recomendaciones, aduciendo costos altos en la construcción.

Tras años de estudio en este tipo de suelos se han creado correlaciones, tales como: Kulhawy y Maine (1990), y Leoni (2005), para la obtención de la cohesión y fricción, entre otras, las mismas que facilitan la obtención de parámetros del suelo y disminuyen el costo en el diseño y construcción de micropilotes.

Con el tema de investigación presentado, se propone realizar una comparación técnica del diseño de una cimentación profunda, obteniendo los parámetros necesarios mediante correlaciones y la obtención de parámetros obtenidos en laboratorio e in situ. De esta forma se pretende tener un sustento de la confiabilidad de estas correlaciones en suelos del sector en estudio de la presente disertación.

1.2 Planteamiento del problema

En el Ecuador se tiene gran cantidad de construcciones informales, debido a la falta de: recursos, conocimiento técnico, exceso de confianza en el “maestro mayor”, criterios errados de cimentaciones, etc. A estos factores se le agrega el tipo de suelo existente en toda la ciudad, que en caso de un sismo presenta una amplificación del tren de ondas incidente en la estructura, poniendo en riesgo vidas y pérdidas económicas considerables. Para reducir este riesgo, se busca que el proyecto de disertación de tesis sea una fuente de conocimiento basado en correlaciones

propias referentes al suelo ecuatoriano, motivando el cumplimiento de la normativa vigente para diseño de Micropilotes LRFD capítulo 10. (LRFD, N.E. 2017)

- Sección 10.7.3.8.6 b capacidad a fricción en suelos cohesivos, pilotes hincados.
- Sección 10.7.3.8.6 e capacidad a punta (qp) en suelos cohesivos, pilotes hincados.
- Sección 10.8.3.5.1 b capacidad a fricción en suelos cohesivos, pilotes prebarrenados.
- Sección 10.8.3.5.1 c capacidad a punta en suelos cohesivos, pilotes prebarrenados.

1.3 Localización geográfica

1.3.1 Descripción general

La ubicación del Ecuador está entre las coordenadas Longitud: O77°30'0" Latitud: S2°0'0" en América del Sur. La presente disertación se enfoca en la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas ubicada al noroccidente del Ecuador la cual se encuentra limitada al norte y al este con la provincia de Pichincha, al noroeste con Esmeraldas, al oeste con Manabí, al sur con Los Ríos y al sureste con Cotopaxi.

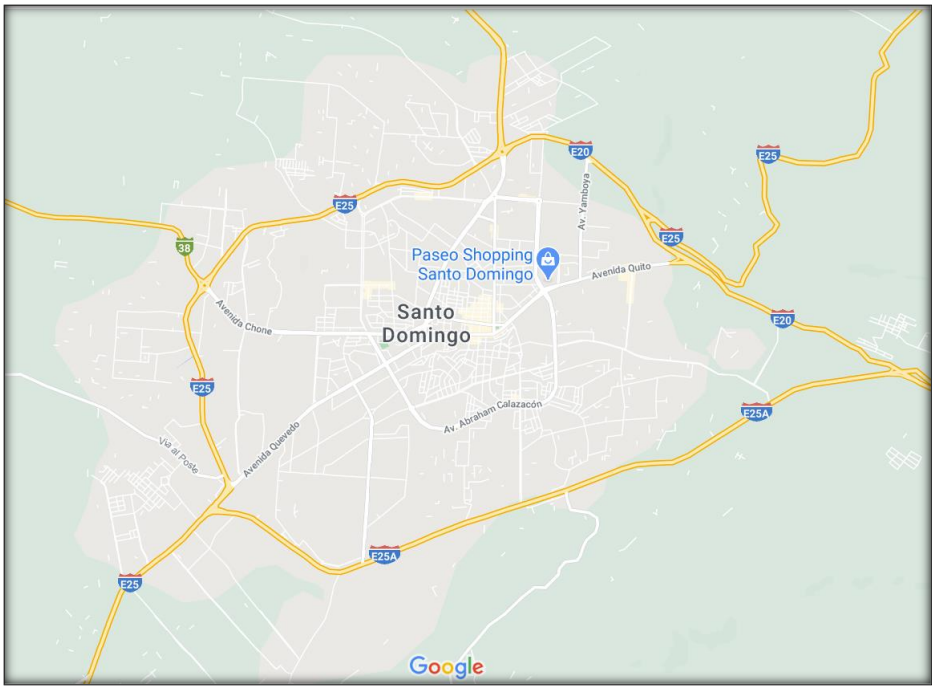


Ilustración 1: Ubicación Santo Domingo Fuente: Google maps

Las ubicaciones de los vértices de estudio para nuestra disertación se detallarán a continuación:

- Vértice Centenario - Quito

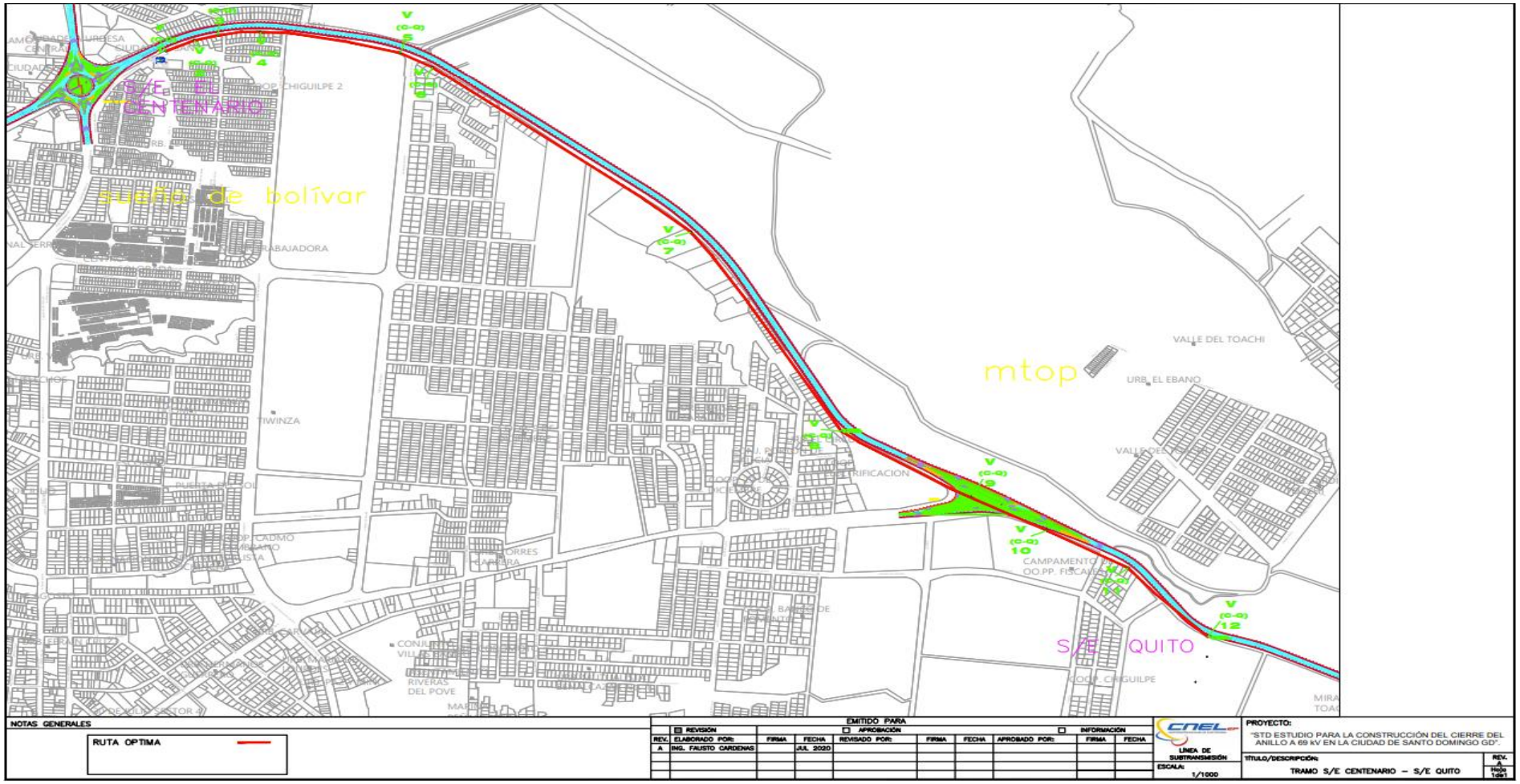


Ilustración 2: Ubicación del proyecto. Vértice centenario – quito

- Vértice La cadena - Quevedo

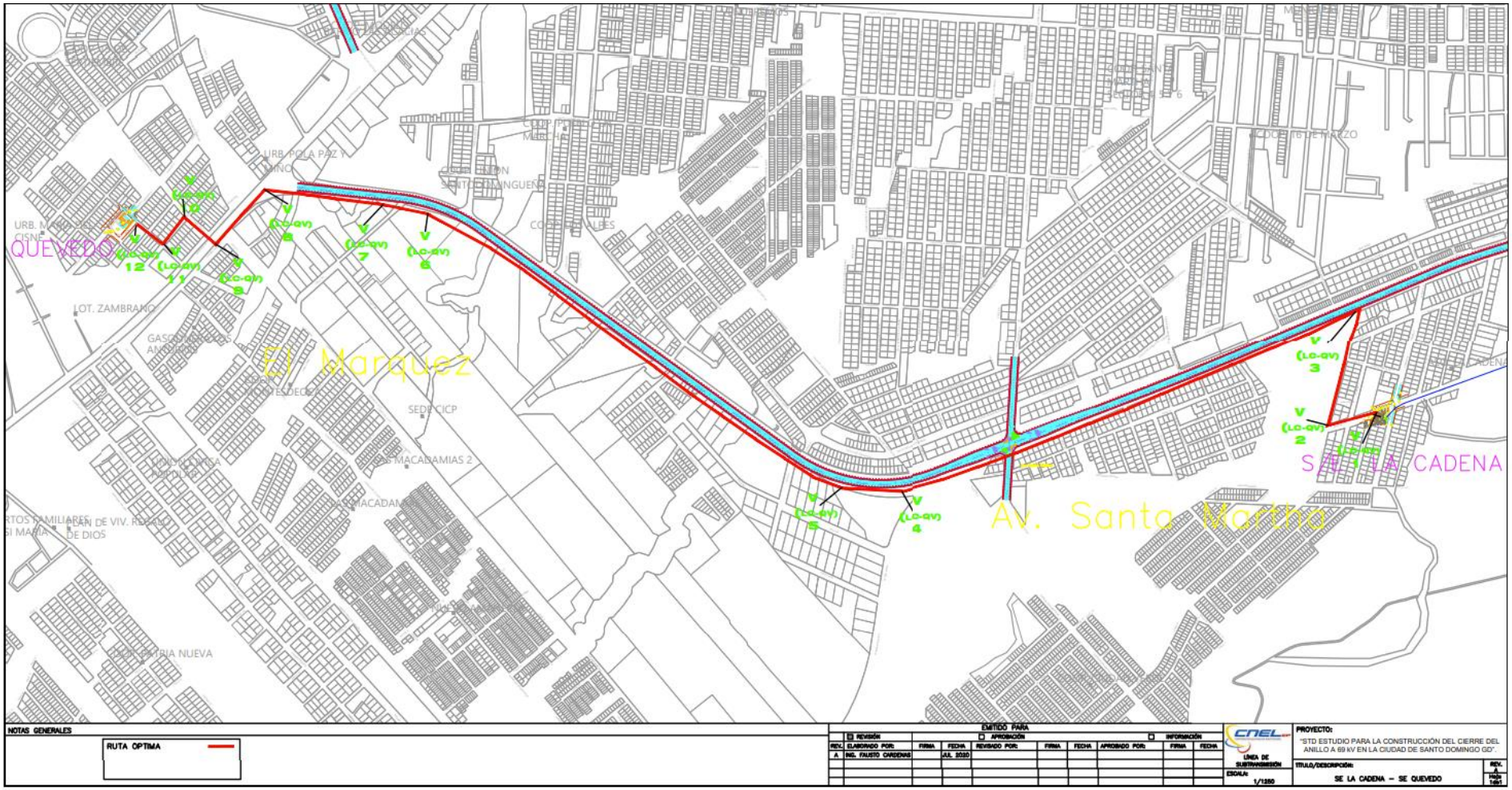


Ilustración 3: Ubicación del proyecto. Vértice La cadena - Quevedo

- Vértice Quevedo – Intersección Arca

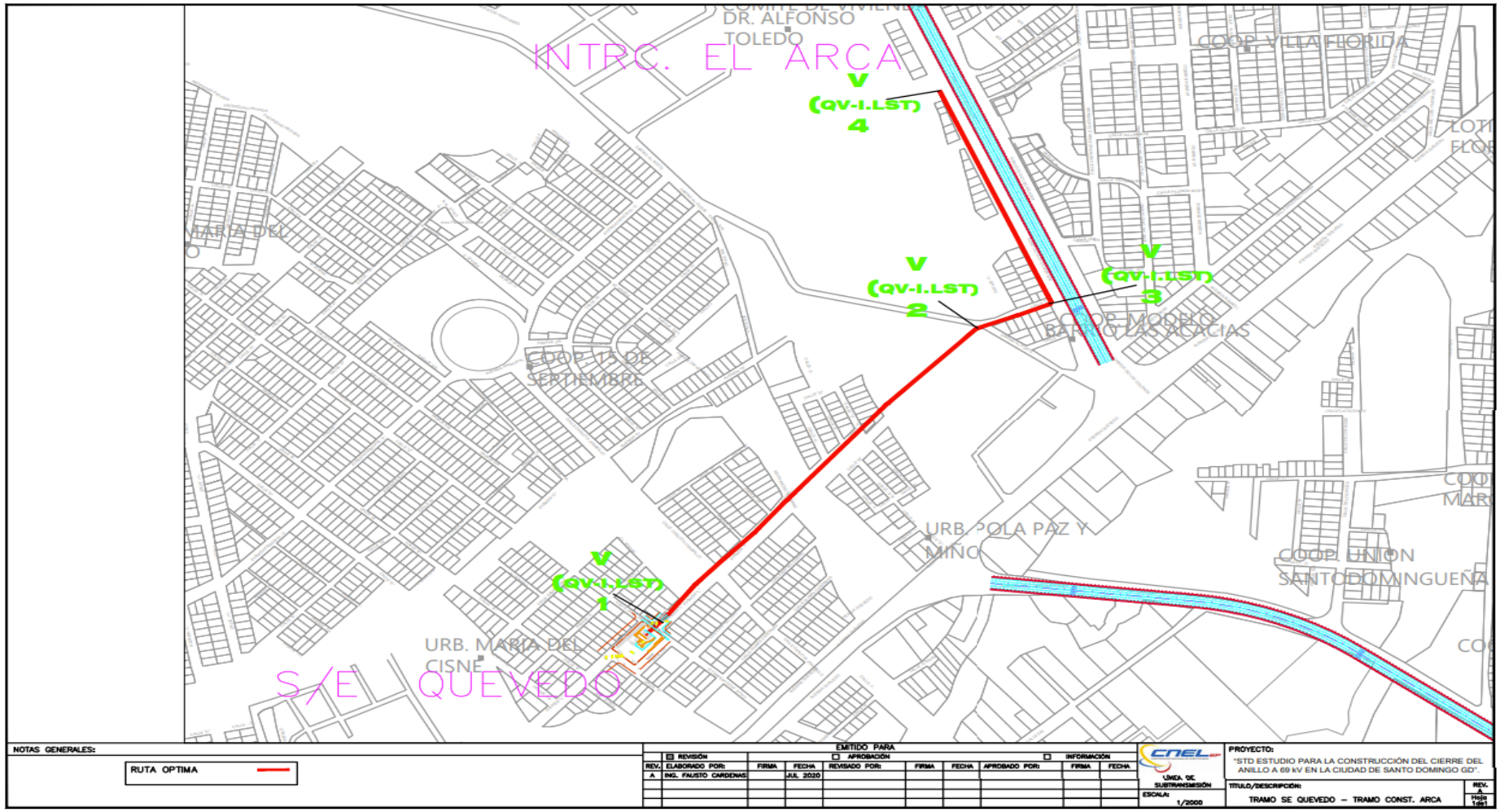


Ilustración 4:Ubicación del proyecto. Vértice Quevedo – intersección Arca

- Vértice Transelectric – La cadena

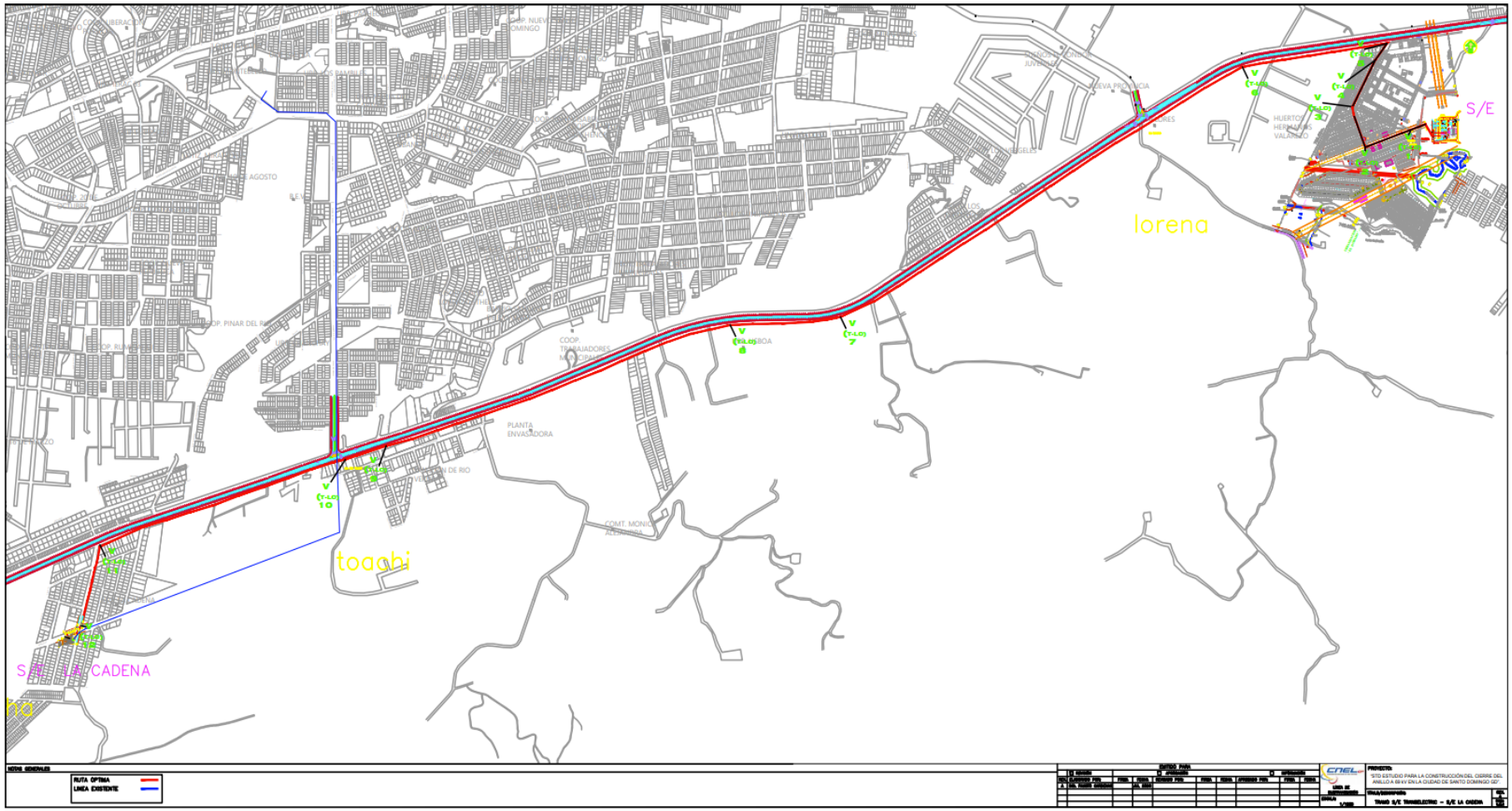


Ilustración 5: Ubicación del proyecto. Transelectric – la cadena

- Vértice El Arca – El Carmen

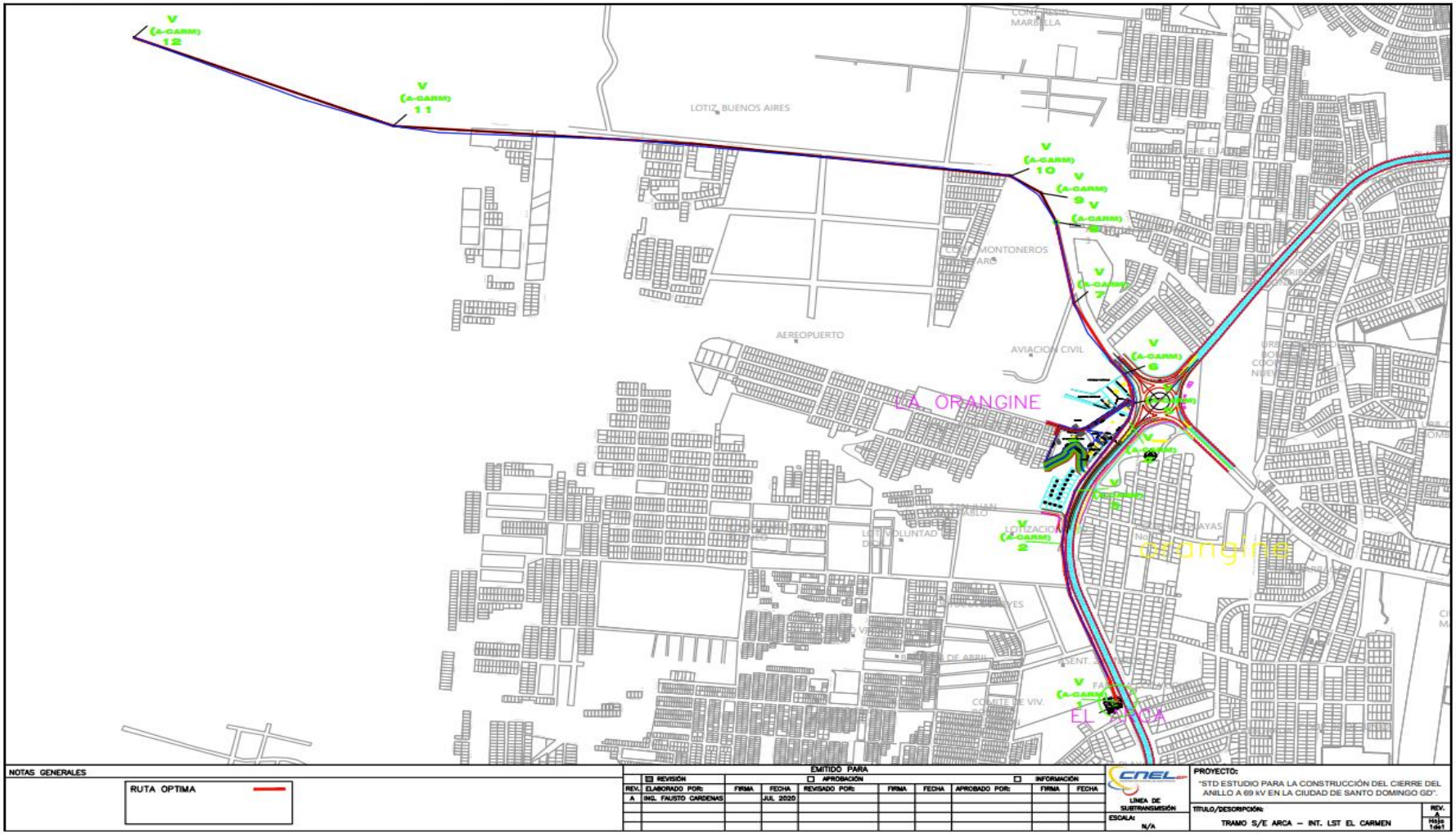


Ilustración 6: Ubicación del proyecto. Vértice El Arca – El Carmen

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Comparar el diseño de los micropilotes mediante la metodología LRFD 2017, con métodos que utilicen bibliografías, ensayos de laboratorio en muestras inalteradas (shelby) obtenidas en campo y ensayos in situ, en el cierre del Anillo Vial de 69 kv en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

1.4.2 Objetivos específicos

- Obtención de parámetros de corte (ángulo de fricción, cohesión y peso específico) en laboratorio y planteamiento de correlaciones en función del N del SPT.
- Determinar curvas de correlación en función de los ensayos SPT de campo, ensayos de corte directo, sistema unificado de clasificación del suelo (SUCS).
- Realizar el diseño de pilotes mediante la metodología LRFD para la construcción de pilotes en el cierre del anillo vial de 69 Kv en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

1.5 Alcance

La presente investigación persigue como alcance se socialice la construcción de cimentaciones sobre micropilotes en los suelos estudiados de tal manera que sean más seguras y con costos similares a una cimentación tradicional.

Se realizarán ensayos de penetración estándar (SPT) en campo en los cuales se obtendrán el número de golpes de este, y adicionalmente, se obtendrán treinta muestras tipo shelby, a diferentes profundidades. De tal manera que, se pueda tener un universo de muestras representativas que posteriormente serán llevadas al laboratorio y se obtendrán los parámetros de cohesión, ángulo de fricción y peso específico, los mismos que son indispensables para el cálculo de la carga de un micro pilote utilizando la norma LRFD 2017.

Al final de esta disertación, se obtendrá diferentes parámetros de correlaciones, entre número de golpes, clasificación SUCS, granulometrías, peso específico, la cohesión, y ángulo de fricción estos dos últimos obtenidos del ensayo de corte directo.

El alcance de esta disertación no considera las condiciones geológicas o hidrogeológicas del sector. Únicamente se planteará el diseño de micropilotes utilizando los parámetros de corte del tipo de suelo en la zona de análisis.

1.6 Marco teórico

1.6.1 Antecedentes o marco referencial

La ingeniería civil juega un papel muy importante en el desarrollo de la sociedad, gracias a la misma hoy en día tenemos grandes obras de infraestructura, en las cuales funcionan hospitales, escuelas, viviendas, entre otras. La ingeniería civil además de proveernos la infraestructura necesaria para el diario vivir, también brinda seguridad; de ahí parte la filosofía del diseño como aporte para obras civiles que garanticen la vida de sus ocupantes.

Sin embargo, la construcción ilegal y las invasiones a limitado esta filosofía, debido a que en el medio la mano de obra informal es dominante frente a la construcción legal. Por otro lado, el estudio de suelos es fundamental para garantizar una construcción segura. Por todo esto la presente investigación busca la construcción de edificaciones seguras, además de facilitar el proceso de diseño de cimentaciones en el sur de la ciudad donde los micropilotes son necesarios para asegurar una estructura que cumpla con los estándares de calidad.

1.7 Marco conceptual

1.7.1 Micropilotes

Un micropilote se define como un elemento estructural que se lo realiza como la de un pilote tradicional, colocando refuerzo de acero en el centro luego de la perforación en el eje del pilote y se coloca la lechada bajo presión, los micropilotes tienes pequeño diámetro, inferior a los 300mm (Lewis,2003).

El uso de micropilotes se venía usando desde años atrás, las primeras construcciones de viviendas eran cerca de ríos, lagos, de modo que se conocía el nivel freático y se sabe que se tiene suelos con baja resistencia lo cual es complicado construir, lo que sería conveniente el uso de pilotes o micropilotes. (Lewis,2003)

1.7.2 Desarrollo Histórico

Antiguamente se usaba el concepto de pilote o algún mecanismo que pueda transmitir esfuerzos a una profundidad relativa. En todo el mundo se usaba troncos de madera hincados, este proceso era manualmente lo cual se utiliza utilizaban en terrenos flojos con la finalidad de encontrar un suelo firme (Bruce, 1989)

Desde la antigüedad, se usaba pilas hincadas, pilotes o pilas de madera de cedro, las que eran utilizadas en Babilonia. De igual forma, se han encontrado varios restos arqueológicos de estos

sistemas de construcción en zonas pantanosas, los cuales tenían las dos funciones, una era de cimentación y separar la base de la vivienda de las aguas circundantes (Bruce, 1989)

En Venecia y Holanda, en la edad media, este método era usado para las construcciones. En estas épocas, las pilas eran de árboles los cuales tenían un diámetro decreciente hacia la punta, se hincaban hasta que la penetración se volvía imposible. Se utilizaba golpes de mazo o golpes por medios mecánicos; por ejemplo: sistemas de palanca o ruedas de agua (Bruce, 1989)

Gracias a la revolución industrial y a la implementación de energía del vapor, fue cambiando la situación. Ya habiendo desarrollado la energía, implementaron el primer martillo de vapor para la aplicación de las pilas, el cual fue desarrollado por Nasmyth en el año 1845 (Bruce, 1989)

Al paso de los años, también se desarrollan las construcciones importantes, por lo que la necesidad en la capacidad de los pilotes tenía que ser mucho mayores a las que se disponía (Bruce, 1989)

En el siglo XIX, las herramientas mecanizadas iniciaron su uso como lo fueron los tornos y las abrazaderas, las cuales permitieron realizar perforaciones empotradas en suelos de baja capacidad, y bajo el nivel freático, teniendo un costo bajo (Ellis I. , 1990)

Conforme fue avanzando la tecnología del hormigón, fue posible la fabricación de pilotes con un gran diámetro, también se desarrolló la perforación rotatoria que se utilizaba para perforaciones profundas como son los pozos de petróleo (Ellis I. , 1990)

El italiano Fondedile, en el año 1952, construía pilotes con un diámetro más pequeño; inicialmente los llamaban pilas de la raíz, los cuales actualmente se los llama micropilotes (Bruce, 1989). Estos tienen características como su diámetro pequeño, utiliza equipo más pequeño que las pilas tradicionales y se puede aplicar para cualquier tipo de terreno (Ellis I. , 1985)

1.7.3 Usos de los Micropilotes

Los usos de los micropilotes tienen tres grupos, uno de ellos es que los elementos portantes estén trabajando a comprensión, también como elementos a tracción para la estabilización de taludes y por último en estructuras de contención de tierras (Bruce, 1989)

1.7.3.1 Elementos Portantes

Pueden ser usados en edificaciones industriales, asentados en suelos blandos o reduciendo los asentamientos diferenciales en una construcción antigua con una nueva, para trabajos de recalce, para cimentación de maquinaria aislada y para soportar soleras en estructuras industriales (Bruce, 1989)

1.7.3.2 Micropilotes a Tracción

Para poder resistir supresiones no compensadas por el peso de las estructuras, situadas bajo el nivel freático y para cimentar torres o mástiles (Bruce, 1989)

1.7.3.3 Estructuras de contención de tierra

Para poder formar un muro de suelo mejorado, estabilización de laderas y para formar muros de contención de tierras las cuales reemplacen a los muros de pantalla o muros de pilotes (Bruce, 1989).

1.7.4 Clasificación de Micro-pilotes

1.7.4.1 Micro-pilote clásico

Una de las características es que el diámetro es menor que los 300 mm, los pasos y desarrollo de un micro-pilote en la siguiente figura:

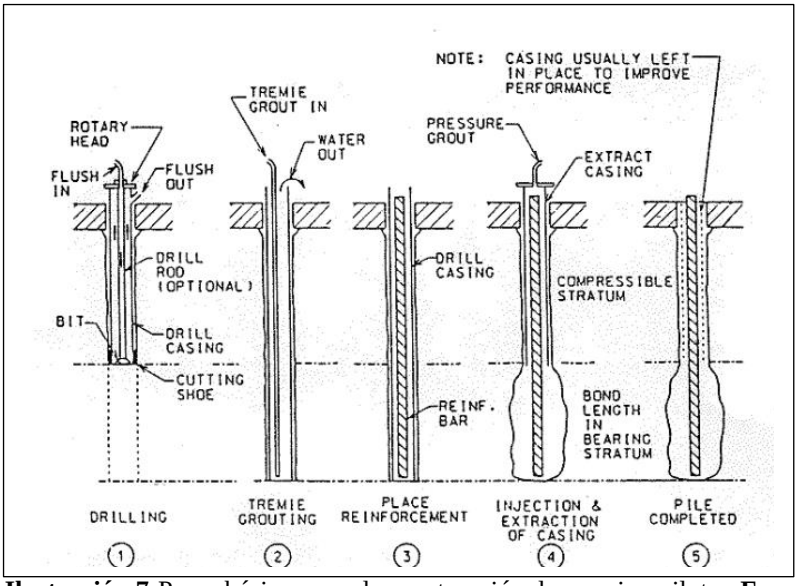


Ilustración 7: Pasos básicos para la construcción de un micropilote **Fuente:** *(Bruce, 1989)*

Primero, se inicia con la perforación que se puede realizar en cualquier tipo de suelo, se continua con la perforación a rotación introduciendo agua circulante por medio de la vaina para limpiar los cortes del suelo, teniendo un chorro de agua a través del espacio entre la vaina y el suelo. (Bruce, 1989)

Se va a utilizar refuerzo de acero, continuamente con la inyección de lechada típica la cual es una mezcla que es la relación de agua/cemento entre 0,40/0,55. En algunos casos se agrega arena para poder disminuir el costo (Bruce, 1989).

Autores	Diámetro (mm)	Longitud (m)	Presión de la Inyección Máxima (Mpa)	Carga del servicio(kN)
Bruce 1994			0,5 a 1 para la primera lechada	
			hasta 4 para postgrouting	
Bruce et al. 1996	100 a 250	20 a 30		300 a 1000
Bruce 1997			hasta 8 dependiendo del tipo micropilo	
Bustamante y Doix 1985	80 a 250			
Ellis 1990	75 a 225	10 a 20		100 a 300
Ellis 1985	76 a 280			
Mascardi 1982			0,6 para la pila de la raíz	100 a 1000
			1 a 2 para la inyección repetitiva	
NGES, universidad del noroeste	67 a 89	4 a 4,9	hasta 9 para los *micropiles* rellenados	

Tabla 1: Clasificación de micro-pilotes según diferentes autores. **Fuente:** Elaborado por Cecibel Román

1.7.5 Tipos de Micro-pilotes

1.7.5.1 Micro-pilotes

Antiguamente conocidos con el nombre de pilas de la raíz, estas pilas tienen una sola barra de acero para el refuerzo, el tubo tremie ayuda para rellenar las pilas y se aplica una presión que no exceda los 600 Kpa. El refuerzo se coloca antes del tubo tremie y antes de aplicar la presión. (Ellis I. , 1985) (Mascardi, 1982)

1.7.5.1.1 Micropilote Tubfix

Ese tipo de *micropilote* utiliza de refuerzo una tubería de acero y tubería de inyección, la cual se rodea sin válvulas de retorno proporcionando la presión para que se defina la zona de inyección. La inyección es realizada repetidas veces, luego de haber inyectado la primera lechada, volviendo a inyectar a presión con la ayuda de válvulas de *anti-retorno* de la barra de acero, para la zona de inyectores internos. Las válvulas son llamadas *manchettes*, se puede repetir la inyección de lechada, luego que la primera haya fraguado, finalmente se llena la tubería de lechada (Mascardi, 1982)

1.7.5.1.2 Barra de Gewi

Esta barra fue desarrollada en Alemania, del mismo procedimiento del *micropilote Tubfix* se inyecta varias etapas. Se utiliza una barra de acero de alta resistencia para el refuerzo y la lechada es inyectada con la ayuda de una tubería de plástico, colocada adyacente a barra de refuerzo, como se observa en la ilustración 9 (Mascardi, 1982)

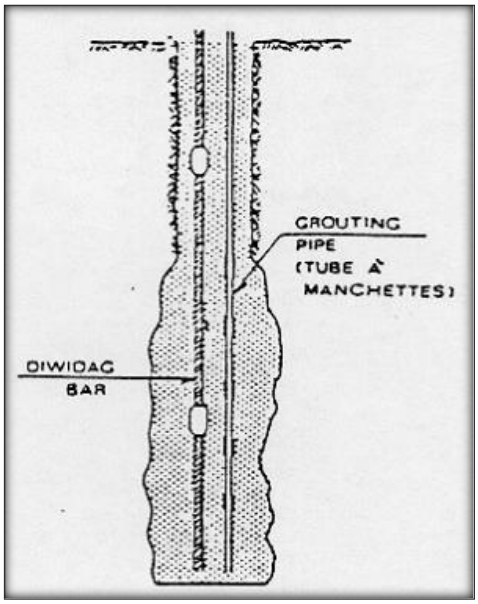


Ilustración 8: Barra Gewi **Fuente:** *(Mascardi, 1982)*

1.7.5.1.3 Pila de la raíz con bulbo

La manera de construcción de este micro-pilote es igual al de la pila de la raíz, pero se adiciona una célula deformable en el extremo de la misma, como se observa en la ilustración 10.
Luego de que la lechada exterior del refuerzo se haya endurecido, se inyecta una lechada limpia de cemento con la ayuda de una vaina de acero para poder hinchar la célula, rompiendo las paredes de la célula y creando un bulbo con una presión casi uniforme en el suelo. Teniendo como propósito aumentar la fuerza en la punta del micro-pilote, manteniendo la alta resistencia friccional lateral. Actualmente no es muy común utilizarla (Ellis I. , 1985)

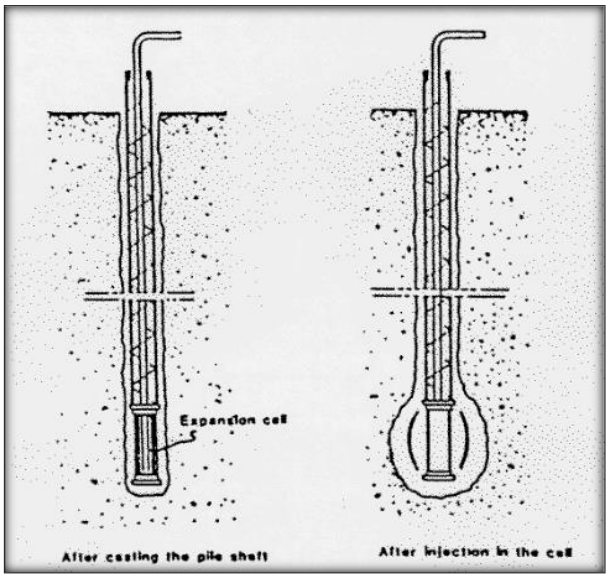


Ilustración 9*: Pila de Raíz con la base expandida* ***Fuente:*** *(Ellis I. , 1985)*

1.8 Métodos de cálculo para Micropilotes

Al tener un proceso de recalce provoca que la carga total se distribuya en la cimentación, para conocer cuánto de la carga total se puede establecer a una cimentación primitiva y saber que fuerza será transmitida a los micropilotes, hasta que se pueda establecer el micro pilotaje (Ellis I. , 1990) (Mascardi, 1982)

a) Efecto grupo: al conocer la carga que resistirá el grupo de micropilotes, se debe tomar la decisión del número de micros y que capacidad tendrá cada uno, al utilizar un grupo de micropilotes siempre tendremos un efecto positivo (Bruce, 1989)
b) Efecto del recubrimiento permanente: este método consiste cuando la cubierta de acero se coloca en una zona donde no tengamos ninguna resistencia lateral, esto ayuda a tener un mejor funcionamiento del micropilote (Bruce, 1989)
c) Conexión a la estructura: se tiene dos sistemas al que se puede conectar los micropilotes a la estructura (Mascardi, 1982)
    1. Conectados los micropilotes directamente a la estructura, este método es el más utilizado por ser más simple.
    2. Pretensar los micropilotes antes de conectarse a la estructura, este método se utiliza para tener una solución aceptable.

1.9 Metodología para el diseño geotécnico LRFD

1.9.1 Diseño geotécnico

La metodología para el diseño geotécnico sirve para definir la geometría del pilote, para el cual es necesario conocer detalladamente el comportamiento de los suelos para así tomar los parámetros adecuados para cada tipo de suelo.

Resistencia admisible del pilote, R_R

La resistencia nominal de un pilote (R_n) es el resultado de la suma de la resistencia a la punta más la resistencia total a la fricción, los cuales se encuentra alterados por un factor de resistencia, como resultado obtendremos la resistencia admisible del pilote, R_R.

En la sección 10.8.3.5-1 de la norma AASHTO LRFD 2014, establece las siguientes ecuaciones para el cálculo de la resistencia admisible del pilote (R_R):

Ecuación 1: Resistencia factorada de un pilote

$$\boxed{R_R = \phi R_n = \phi_{qp} R_p + \phi_{qs} R_s}$$

Ecuación 2: Resistencia nominal por la punta del pilote

$$\boxed{R_p = q_p * A_p}$$

Ecuación 3: Resistencia nominal por fricción del pilote

$$\boxed{R_S = q_s * A_s}$$

Dónde:

R_R = resistencia factorada de un pilote.

R_p = resistencia nominal por la punta del pilote.

R_s = resistencia nominal por fricción del pilote.

ϕ_{qp} = factor de resistencia por punta. $AASHTO\ LRFD$ 2014 − $tabla$ 10.5.5.2.4 – 1

ϕ_{qs} = factor de resistencia por fricción $AASHTO\ LRFD$ 2014 − $tabla$ 10.5.5.2.4 – 1

q_p = capacidad a punta unitaria del pilote.

q_s = capacidad por fricción del pilote.

A_p = área de la punta del pilote.

A_s = área perimetral del pilote.

En la siguiente ilustración, se observa el pilote con la resistencia a la punta y por fuste.

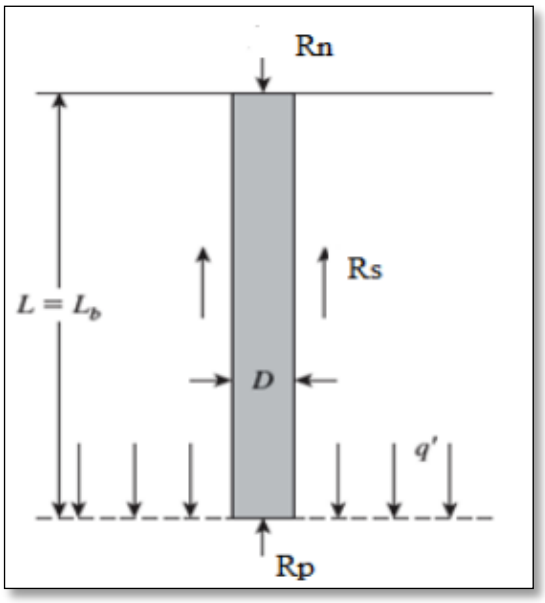


Ilustración 10: Capacidad última de carga del pilote Fuente: (Braja M, 2001)

Donde:

L= longitud de empotramiento.

L_b = longitud de empotramiento en el estrato de apoyo.

Los factores que alteran a la resistencia a la fricción y a la punta como se mencionó anteriormente, la norma AASHTO LRFD 2014 recomienda los valores que estarán detallados a continuación:

Method/Soil/Condition			Resistance Factor
Nominal Axial Compressive Resistance of Single-Drilled Shafts, φ_{stat}	Side resistance in clay	α-method (Brown et al., 2010)	0.45
	Tip resistance in clay	Total Stress (Brown et al., 2010)	0.40
	Side resistance in sand	β-method (Brown et al., 2010)	0.55
	Tip resistance in sand	Brown et al. (2010)	0.50
	Side resistance in cohesive IGMs	Brown et al. (2010)	0.60
	Tip resistance in cohesive IGMs	Brown et al. (2010)	0.55
	Side resistance in rock	Kulhawy et al. (2005) Brown et al. (2010)	0.55
	Side resistance in rock	Carter and Kulhawy (1988)	0.50
	Tip resistance in rock	Canadian Geotechnical Society (1985) Pressuremeter Method (Canadian Geotechnical Society, 1985) Brown et al. (2010)	0.50
Block Failure, φ_{b1}	Clay		0.55
Uplift Resistance of Single-Drilled Shafts, φ_{up}	Clay	α-method (Brown et al., 2010)	0.35
	Sand	β-method (Brown et al., 2010)	0.45
	Rock	Kulhawy et al. (2005) Brown et al. (2010)	0.40
Group Uplift Resistance, φ_{ug}	Sand and clay		0.45
Horizontal Geotechnical Resistance of Single Shaft or Shaft Group	All materials		1.0
Static Load Test (compression), φ_{load}	All Materials		0.70
Static Load Test (uplift), φ_{upload}	All Materials		0.60

Ilustración 11: Factores de resistencia geotécnica para pilotes pre barrenados Fuente: (AASHTO, 2004)

1.9.2 Resistencia de la punta del pilote, R_p

Los pilotes con resistencia a la punta transfieren cargas por medio del agua o suelos hasta estratos con suficiente capacidad portante, a través de la punta del pilote.

La resistencia que se produce en la punta del pilote se la determina con la ayuda de la ecuación de la norma AASHTO LRFD 2014, en la sección 10.8.3.5; la cual es usada en suelos cohesivos como en no cohesivos:

Ecuación 4: Resistencia en la punta del pilote

$$R_p = q_p * A_p$$

Dónde:

q_p = resistencia a la punta unitaria del pilote. Para el cálculo de la resistencia a la punta unitaria, existen varias fórmulas dependiendo el tipo de suelo sobre el cual se cimentará.

A_p = área de la punta del pilote.

Para el cálculo del área de la sección transversal, se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 5: Área de la sección transversal

$$A_p = \frac{\pi * (D)^2}{4}$$

Dónde:

D = diámetro de pilote.

A_p = área de la sección transversal.

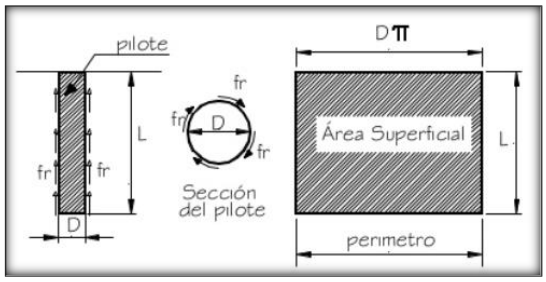


Ilustración 12: Secciones del pilote Fuente: (Braja M, 2001)

1.9.3 Capacidad a punta unitaria del pilote (q_p), para ARCILLAS.

A través del soporte en la punta del pilote, se transmiten cargas por medio de agua o suelos blandos hasta estratos de suelo con suficiente capacidad portante.

La norma AASHTO LRFD 2014, en su sección 10.8.3.5.1c, recomienda algunos métodos, uno de ellos es el método de Brown (2010), y sus ecuaciones son la siguientes:

Ecuación 6: Resistencia de punta unitaria del pilote

$$q_p = N_c S_u \leq 390\ t/m^2$$

Ecuación 7:

$$N_c = 6\left(1 + 0.2 * \frac{Z}{D}\right) \leq 9$$

Dónde:

D = diámetro del eje perforado (m).

Z = penetración del eje (m).

Su = resistencia al corte no drenado (t/m^2).

1.9.4 Resistencia de punta unitaria del pilote q_p , para ARENAS.

En la norma AASHTO LRFD 2014, en la sección 10.8.3.5.2 se recomiendan varias alternativas para el cálculo de la resistencia de la punta unitaria del pilote cuando se presentan suelos sin cohesión.

El método de Brown (2010), indica la siguiente ecuación para el cálculo:

Si $N_{60} \leq 50$, entonces $q_p = 1.2\ N_{60}$

q_p = Resistencia de punta unitaria (ksf)

Una alternativa es usar el método de Meyerhof, el cual es basado en observaciones de campo en el año 1976, del autor Braja M. Das (2012). La siguiente ecuación va estar afectada por un factor que dependerá del ángulo de fricción:

Ecuación 8: Resistencia de punta del pilote

$$R_p = A_p\ (\sigma'_v\ N^*q)$$

Dónde:

R_p = resistencia de punta del pilote.

A_p = área de la punta del pilote.

σ'_v = esfuerzo efectivo al nivel de la punta del pilote.

N^*q = factor de capacidad de carga. Ilustración 7:

Meyerhof establece que R_p no debe exceder el valor límite de $A_p * ql$, es decir,

$$R_p = A_p\ q'\ N^*q \leq A_p\ ql$$

$$ql = 0.5 p_a N^*q\ tan\emptyset'$$

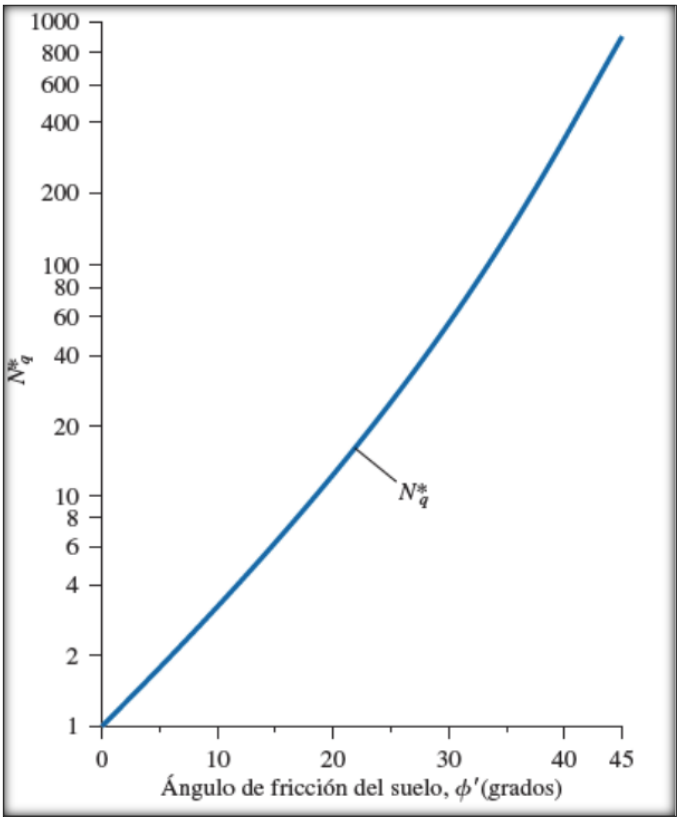


Ilustración 13: Valores máximos de Nq vs ángulo de fricción del suelo Fuente: (Braja M, 2001)*

1.9.5 Resistencia nominal por fricción, Rs

Es la resistencia que se produce en el interfaz suelo – pilote.

La norma AASHTO LRFD 2014, recomienda la siguiente ecuación para la determinación de la resistencia a la fricción:

Ecuación 9: Resistencia a la fricción

$$R_S = q_s \, A_S$$

Dónde:

q_s = resistencia por fricción unitaria del fuste del pilote.

As = área de la superficie lateral del pilote.

Para el cálculo del área de la superficie de contacto, se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 10:Área de la superficie de contacto

$$A_S = \pi * DL$$

A_S = área de la superficie de contacto.

D = diámetro de pilote.

L = longitud del pilote.

1.9.6 Capacidad a fricción (q_s), para ARCILLAS.

En la sección 10.8.3.5.1b de la norma AASHTO LRFD 2014, sugiere el método α para el cálculo de la resistencia a la fricción:

Ecuación 11: Resistencia a la fricción

$$q_s = \alpha S_U$$

$$\alpha = 0.55; \text{Cuando } \frac{S_u}{P_a} \leq 1.5$$

$$\alpha = 0.55 - 0.1\left(\frac{S_u}{P_a} - 1.5\right); cuando\ 1.5 \leq \left(\frac{S_u}{P_a} \leq 2.5\right)$$

Dónde:

S_u = resistencia al corte no drenado.

α= factor de adherencia.

Pa = presión atmosférica.

1.9.7 Capacidad a fricción (q_s), para arenas

Se debe considerar algunos factores para determinar la resistencia por fricción unitaria en arenas; según (Das Braja, 2012)

- Alrededor del pilote en arenas el ángulo de fricción aumenta significativamente por causa de la vibración provocada por el hinchamiento en los pilotes. La vibración que se produce al hincar el pilote provoca la compactación del suelo como se observa en la ilustración 8.

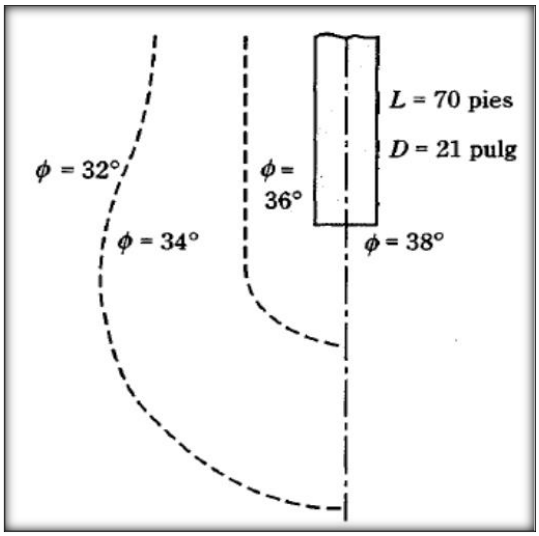


Ilustración 14: Compactación de arena cercana al pilote hincado Fuente: (Braja M, 2001)

- La resistencia unitaria producida por la fricción va de manera ascendente linealmente lo cual dependerá de la profundidad hasta L´, a partir de L´ la resistencia unitaria por fricción es constante. Se tiene que L´ es aproximadamente 15D, como se observa en la ilustración 9.

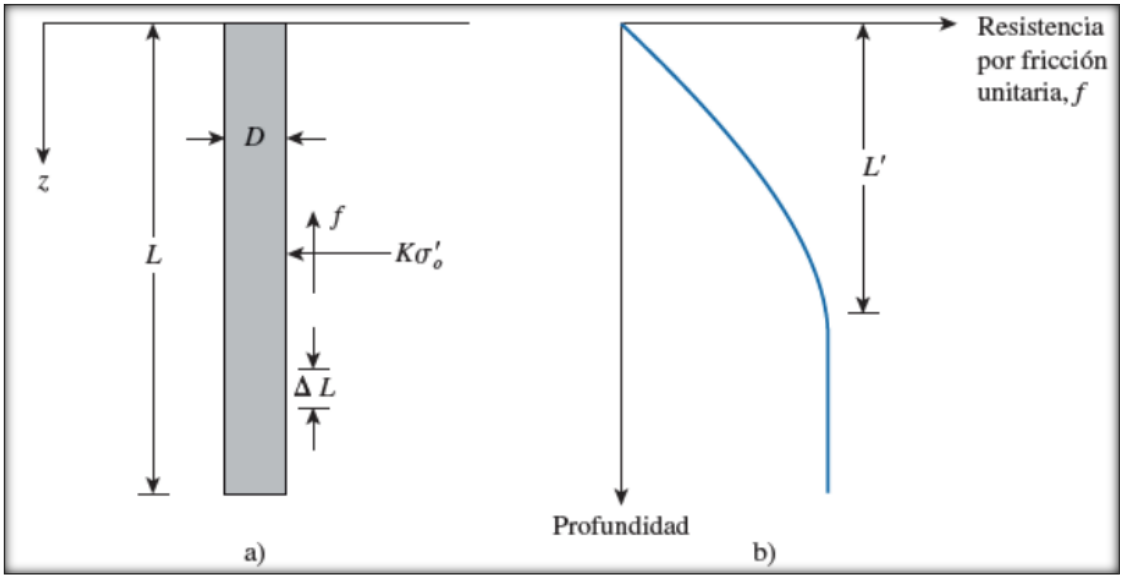


Ilustración 15: Resistencia unitaria de fricción de pilotes en arena. Fuente: (Braja M, 2001)

- Al tener profundidades iguales, la fricción superficial unitaria en arena suelta es mayor para los pilotes con alto desplazamiento comparado con un pilote de bajo desplazamiento. (Braja M, 2001)
- Al tener profundidades iguales, en los pilotes perforados o hincados con gran presión de agua, se producirá una fricción superficial unitaria que en el caso de pilotes hincados. (Braja M, 2001)

  Considerando los puntos anteriormente mencionados la fricción, sería:

  Para z = 0 a L´

$$q_s = K\,\sigma'_v\,tan\delta$$

  Para z = L´ a L

$$q_s = f_Z = L'$$

Dónde:

K = coeficiente efectivo de la tierra.

σ'_v = esfuerzo vertical efectivo a la profundidad en consideración.

δ = ángulo de fricción entre suelo – pilote.

Se puede determinar q_s, en función de la resistencia promedio de la penetración estándar corregida:

1. Pilotes hincados de gran desplazamiento:

$$f_{prom}\left(\frac{KN}{m^2}\right) = 2\ N_{cor}$$

$$f_{prom}\left(\frac{lb}{pies^2}\right) = 40\ N_{cor}$$

2. Pilotes hincados de pequeño desplazamiento:

$$\beta\beta f_{prom}\left(\frac{KN}{m^2}\right) = N_{cor}$$

$$f_{prom}\left(\frac{lb}{pies^2}\right) = N_{cor}$$

Para determinar la fricción unitaria superficial q_s , tenemos las siguientes ecuaciones según los diferentes autores:

Meyerhof:

$$R_S = pLf_{prom}$$

Coyle y Castello:

$$R_S = f_{prom}pL = (K\ \sigma'_o\ tan\delta')pL$$

Dónde:

σ'_o = presión de sobrecarga efectiva promedio.

δ' = ángulo de fricción entre suelo y pilote = 0.8 ϕ.

En la sección 10.8.3.5.2b, de la norma AASHTO LRFD 2014, se recomienda utilizar el método β, lo cual calculamos con la siguiente ecuación:

$$q_s = \beta\ \sigma'_v$$

$$\beta = (1 - \sin\phi'_f)\left(\frac{\sigma'_p}{\sigma'_v}\right)^{\sin\phi'_f} tan\phi'_f$$

Dónde:

β = coeficiente de trasferencia de carga (adimensional).

ϕ'_f = ángulo de fricción de suelo (◦).

σ'_p = esfuerzo efectivo de pre consolidación.

σ'_v = esfuerzo efectivo vertical del suelo.

Para arenas:

$$\sigma'_p = 0.47\ \text{Pa}\ (N_{60})^m$$

$$\sigma'_p = 0.15\ \text{Pa}\ (N_{60})$$

1.10 Asentamientos de pilotes

1.10.1 Asentamiento de pilote individual para arena y arcillas

En suelos granulares el asentamiento es rápido y en caso de tener un suelo granular denso es mínimo, lo cual no se tiene problemas.

Al tener suelo granular suelto en pilotes excavados o hincados, el asentamiento puede ser representativo, pero no se cuenta con un método que mida asentamientos con exactitud. El desplazamiento vertical de un pilote se puede calcular como una carga puntual en la base del pilote.

El ensayo de carga es método más aceptable para conocer la deformación de un pilote en suelos granulares.

En la sección 10.6.2.4.1 de la norma AASHTO LRFD 2014, se tiene la siguiente ecuación para el cálculo de asentamiento:

Ecuación 12: Asentamiento total del pilote

$$S_t = S_e + S_c + S_S$$

Donde:

S_t = asentamiento total del pilote.

S_e = asentamiento elástico del pilote.

S_c = asentamiento por consolidación del pilote.

S_s = asentamiento secundario del pilote.

La norma LRFD 2014, recomienda que se puede emplear métodos alternativos para el cálculo de asentamiento total. Se emplea el método descrito por el autor (Braja M, 2001).

$$S_t = S_{e(1)} + S_{c(2)} + S_{S(3)}$$

Donde:

S_t = asentamiento total del pilote.

$S_{e(1)}$= asentamiento elástico del pilote.

$S_{c(2)}$= asentamiento por la carga en la punta del pilote.

$S_{S(3)}$= asentamiento por la carga transmitida a lo largo del fuste del pilote.

Ecuación 13: Asentamiento elástico del pilote

$$S_{e(1)} = \frac{(R_{WP} + \mathcal{E}R_{ws})L}{A_P E_P}$$

Arenas:

Ecuación 14: Asentamiento por la carga en la punta del pilote en arenas

$$S_{e(2)} = \frac{(q_{wp})D}{E_S}(1 - \mu^2{}_s)I_{wp}$$

Arcillas:

Ecuación 15:Asentamiento por la carga en la punta del pilote en arenas

$$S_{e(2)} = \frac{(Q_{wp} * c_p)}{Dq_p}$$

Arenas:

Ecuación 16: asentamiento por la carga transmitida a lo largo del fuste del pilote en arenas

$$S_{e(3)} = \frac{Q_{ws}}{pL}\left(\frac{D}{E_s}\right)(1 - \mu^2{}_s)I_{ws}$$

Arcillas:

Ecuación 17: asentamiento por la carga transmitida a lo largo del fuste del pilote en arenas

$$S_{e(3)} = \frac{(Q_{ws} * c_s)}{Lq_p}$$

Dónde:

R_{WP}: carga en la punta del pilote bajo condición de carga de trabajo.

R_{ws}: carga por resistencia de fricción bajo condición de carga de trabajo.

A_P: área de la sección transversal del pilote.

L: longitud del fuste del pilote.

E_P: módulo de elasticidad del material del pilote.

ξ : deformación unitaria (0.5-0.67).

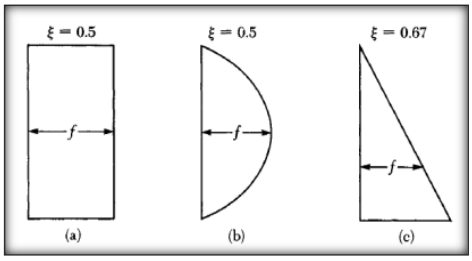


Ilustración 16: Deformación unitaria Fuente: (Braja M, 2001)

q_{wp}: carga puntual por área unitaria en la punta del pilote.

D: ancho o diámetro del pilote.

μ_s: relación de poisson del suelo.

I_{wp}: factor de fluencia por punta ≈ 0,85.

I_{ws}: factor de fluencia por fuste = 2 + 0.35 $\sqrt{\frac{L}{D}}$

c_p: constante empírico (0.03 – 0.06 para arcillas)

	C_p: Coeficiente empírico	
Tipo de suelo	Pilotes Hincados	Pilotes Prebarrenados
Arena (densa a suelta)	0.02 – 0.04	0.09 – 0.18
Arcilla (firme a blanda)	0.02 – 0.03	0.03 – 0.06
Limo (denso a suelto)	0.03 – 0.05	0.09 – 0.12

Ilustración 17: Coeficiente empírico Fuente: (Braja M, 2001)

Ecuación 18: Constante empírico

c_s: constante empírico

$$C_s = \left(0.93 + 0.16\sqrt{\frac{L}{D}}\right) C_p$$

1.11 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO

1.11.1 EXPLOTACIÓN DE SUELOS

Para tener un adecuado diseño y construcción, es indispensable realizar estudios de suelos para cada uno de los elementos de la subestructura para obtener la información necesaria. Los estudios deberán basarse en condiciones subsuperficiales, tener presente el tipo de estructura y los requisitos necesarios del proyecto. Se debe realizar un estudio exhaustivo para revelar la naturaleza y los tipos de depósitos de suelo y las formaciones rocosas encontradas, propiedades de los suelos y rocas, el potencial de licuefacción y las condiciones del agua freática.

Es necesario realizar sondeos en una cantidad y hasta una profundidad para establecer perfiles transversales y longitudinales de los estratos subyacentes en las ubicaciones de las pilas y estribos. Es conveniente tomar muestras del material encontrado in situ. Se debe llevar un registro detallado de los sondeos, que nos ayuden a ubicar los estratos de los materiales, lo resultados de los ensayos de penetración, el nivel freático, cualquier acción artesiana y el lugar donde se tomaron las muestras. (AASHTO, 2004)

La profundidad a la que se debe realizar el estudio de suelo debe ser, hasta encontrar un material competente que tenga una capacidad de carga adecuada, o hasta una profundidad que las cargas estimadas de la zapata sean menores que el 10 por ciento de la tensión efectiva debido a la sobrecarga del suelo. Si se encuentra un lecho de roca a poca profundidad, el sondeo mínimo deberá ser de 3000 mm hacia el interior del lecho de roca o hasta llegar a la profundidad del nivel requerido por el proyecto. Los ensayos se deben realizar en laboratorio como in situ para conocer las características de resistencia, deformación y flujo de los suelos y rocas; y determinar si son adecuadas para la fundación. (AASHTO, 2004)

En el manual AASHTO, cuenta con planificación y realización de programas de exploración de suelos. En el programa de exploración de suelos se debe contar con la información necesaria para un correcto análisis de estabilidad y asentamiento de las fundaciones con respecto a:

- Formaciones geológicas.
- Ubicación y espesor de las unidades de suelo y roca.
- Propiedades físicas de las unidades de suelo y roca (tomando en cuenta la densidad, resistencia al corte y compresibilidad).
- Condiciones de nivel freático.
- Topografía del terreno.
- Consideraciones locales.

1.11.2 ENSAYOS EN LABORATORIO

REQUISITOS GENERALES

Para realizar los ensayos de laboratorio se deben hacer de acuerdo con las normas AASHTO O ASTM.

Los datos obtenidos de los ensayos in situ, como:

- Ensayo de penetración estándar
- Ensayos con penetrómetro de cono
- Ensayos con penetrómetro dinámico
- Ensayos presiométricos

Se puede utilizar para los cálculos de diseño considerando las relaciones empíricas, muchas de las veces los parámetros de los ensayos suelen ser más confiables que los cálculos analíticos, básicamente cuando las condiciones del suelo son conocidas y ya existen relaciones empíricas. También se debe considerar correlaciones entre parámetros con fuentes bibliográficos ya establecidas. (AASHTO, 2004)

ENSAYOS PARA SUELOS

Para realizar los ensayos de suelos en laboratorio pueden incluir:

- Contenido de agua –ASTM D 4663.
- Gravedad especifica – AASHTO T 100 (ASTM D 854).
- Distribución granulométrica – AASHTO T 88 (ASTM D 422).
- Límite líquido y límite plástico – AASHTO T 90 (ASTM D 4318).
- Ensayo de corte directo – AASHTO T 236 (ASTM D 3080).
- Ensayo de corte directo - AASHTO T 236 (ASTM D 3080).
- Ensayo de compresión no confinado - AASHTO T 208 (ASTM D 2166).
- Ensayo triaxial no consolidado no drenado - ASTM D 2850.
- Ensayo triaxial consolidado no drenado - AASHTO T 297 (ASTM D 4767).
- Ensayo de consolidación - AASHTO T 216 (ASTM D 2435 o D 4186).
- Ensayo de permeabilidad - AASHTO T 215 (ASTM D 2434).

Al realizar los ensayos de suelo en laboratorio se los puede agrupar en dos clases generales:

1. Ensayos de clasificación

Los ensayos de clasificación se los realiza con muestras alteradas o inalteradas.

2. Ensayos cuantitativos para determinar permeabilidad, compresibilidad y resistencia de corte

Estos ensayos se los realiza con muestras inalteradas, teniendo como excepciones materiales como relleno controlado o suelos que tienen una estructura estable. Cuando se tiene estos casos los ensayos se deberían realizar sobre muestras preparadas en laboratorio. (AASHTO, 2004)

1.11.3 ENSAYOS IN SITU

REQUISITOS GENERALES

Se realiza los ensayos in situ para conseguir los parámetros de deformación y resistencia de los suelos o rocas para el diseño y análisis. Todos los ensayos se deben realizar con las normas ASTM O AASHTO, los cuales incluyen ensayos de suelo in situ como ensayos de roca in situ. (AASHTO, 2004)

Ensayos de Suelos Realizados In Situ:

Los ensayos de suelos realizados in situ incluyen:

- Ensayo de Penetración Estándar - AASHTO T 206 (ASTM D 1586)
- Ensayo de Penetración Estática (Cono Estático) - ASTM D 3441
- Ensayo del Molinete - AASHTO T 223 (ASTM D 2573)
- Ensayo Presiométrico - ASTM D 4719
- Ensayo con Placa de Carga - AASHTO T 235 (ASTM D 1194)
- Ensayo de Pozo (Permeabilidad) - ASTM D 4750

En la norma AASHTO LRFD 10.4, en la tabla C10.4.3.2-1; observamos algunas características de los ensayos in situ:

TIPO DE ENSAYO	MEJOR APLICACIÓN	NO ES APLICABLE PARA	PROPIEDADES QUE PERMITE DETERMINAR
Ensayo de Penetración Estándar (SPT)	Arena	Grava gruesa	Evaluación cualitativa de la compacidad. Comparación cualitativa de la estratificación del subsuelo.
Ensayo de Penetración Dinámica (Cono Dinámico)	Arena y Grava	Arcilla	Evaluación cualitativa de la compacidad. Comparación cualitativa de la estratificación del subsuelo.
Ensayo de Penetración Estática (Cono Estático)	Arena, Limo y Arcilla	_	Evaluación continua de la densidad y resistencia de las arenas. Evaluación continua de la resistencia al corte no drenada en arcillas.
Ensayo de Molinete	Arcilla	Todos los demás suelos	Resistencia al corte no drenada.
Ensayo Presiométrico	Roca blanda, Arena, Grava y Till	Arcillas blandas sensibles	Capacidad de carga y compresibilidad
Ensayo con Placa de Carga y Ensayo con Barrena Helicoidal	Arena y Arcilla	_	Módulo de deformación. Módulo de reacción de la subrasante. Capacidad de carga.
Ensayo con Dilatómetro de Placa Plana	Arena y Arcilla	Grava	Correlación empírica para tipo de suelo, K_o, relación de sobreconsolidación, módulo y resistencia al corte no drenada.
Ensayo de Permeabilidad	Arena y Grava	_	Evaluación del coeficiente de permeabilidad

Ilustración 18: TIPOS DE ENSAYOS (TABLA C10.4.3.2.1) Fuente: (AASHTO, 2004)

2 CAPÍTULO II

PARÁMETROS PARA IDENTIFICAR Y CLASIFICAR SUELOS

2.1 Granulometría en suelos

Inicialmente con las investigaciones se creía que las propiedades mecánicas dependían de la distribución de las partículas según sus tamaños, por lo que los ingenieros buscaban métodos para conseguir una distribución adecuada. Actualmente, se piensa que alguien que conoce de suelos está en la capacidad de poder deducir las propiedades mecánicas del mismo (Badillo & Rodríguez, 2005)

En los suelos gruesos se puede determinar su granulometría por medio de mallas, por la cual su distribución por tamaños ayuda a conocer las propiedades físicas del material; la experiencia indica que los suelos bien graduados o sea con diferentes tamaños, son más favorables en el área de ingeniería (Badillo & Rodríguez, 2005)

En dichos suelos el comportamiento mecánico e hidráulico se define principalmente por la compacidad de los granos y de su orientación, perdiéndose dichas características después de realizarse el ensayo de granulometría, obteniendo un suelo pobre referente al comportamiento mecánico, por lo cual se desarrollan distintas formas para adquirir una granulometría sin que se alteren las propiedades del suelo. (Badillo & Rodríguez, 2005)

En los suelos finos, las propiedades mecánicas e hidráulicas van a depender de su estructuración y su historia geológica, resultando la granulometría inútil. De igual forma el ingeniero debe conocer los criterios técnicos de la distribución granulométrica y con los diferentes métodos para su determinación. (Badillo & Rodríguez, 2005, pág. 97)

2.2 Sistemas de clasificación de suelos basados en criterios de granulometría.

El suelo se constituye de límites de tamaño de las partículas los cuales tienen un criterio para la clasificación descriptiva. Anteriormente, el suelo se dividía en tres o cuatro fracciones, debido a los procesos que se disponían para la separación de tamaños. (Badillo & Rodríguez, 2005)

2.3 Clasificación del suelo

Terzaghi propone que todo ingeniero debe realizar ensayos para la clasificación de los suelos, ya que ayudará a conocer diferentes propiedades de los suelos que se presentan en campo. (Terzaghi & Peck R, 1973, pág. 42).

Realizar ensayos in-situ ayuda a los ingenieros civiles a enfrentarse a la construcción de cualquier tipo de obra, para poder conocer el tipo de terreno y determinar que correlaciones se deben aplicar. (Terzaghi & Peck R, 1973)

En base a lo anteriormente mencionado, es necesario especificar que la gran mayoría de los suelos están formados por la meteorización de las rocas, los cuales son procesos de descomposición química y desintegración física, produciendo fragmentos pequeños de rocas. "La acción conjunta o individual de estos procesos de meteorización da lugar a un perfil de meteorización de la roca en función de la profundidad. En este perfil la roca sana ocupa la zona más profunda, transformándose gradualmente a suelo hacia la parte más superficial" (Muelas Rodríguez, 2012, pág. 13).

La clasificación de suelos se basa en que el suelo pertenezca a un grupo dependiendo del comportamiento de este. De esta forma tener correlaciones de algunas propiedades con un grupo de un sistema de clasificación general, el cual constituye un proceso empírico que se basa por la experiencia. Por esta razón: *"la gran mayoría de las clasificaciones de suelos utilizan pruebas muy sencillas, de tipo indicativo, para obtener las características del suelo necesarias para asignarlo a un determinado grupo"*

(Lambe & Whitman, 1991, pág. 51)

La clasificación de suelos tiene tres principales formas que son:
1. **Clasificación por granulometría.**
2. **American association of state highway and transportation officials (AASHTO)**
3. **El sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)**

Nota: Fuente: Elaborado por Cecibel Román

2.3.1 Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)

El sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) fue propuesto por Casagrande en el año 1942, para la construcción de aeropuertos militares el cual se utilizó en la segunda guerra mundial. (Das Braja, 2012) El SUCS tiene 2 clases para clasificar los suelos:

2.3.1.1 Suelos gruesos:

Son de tipo grava y arenosa que son los que pasan menos del 50% por el tamiz No. 200.

	Símbolo
Suelos Gravosos	G
Suelos Arenosos	S

Nota: Fuente: Elaborado por Cecibel Román

2.3.1.2 Suelos finos:

Son los que pasan el 50% o más por el tamiz No. 200.

	Símbolo
Limo Inorgánico	M
Arcillas Inorgánicas	C
Limos y Arcillas Orgánicos	O

Nota: Fuente: Elaborado por Cecibel Román

Asimismo, para la clasificación de suelos también se tiene otros símbolos que son:

	Símbolo
Bien Graduada	W
Mal Graduada	P
Baja Compresibilidad (LL< 50%)	L
Alta compresibilidad (LL > 50%)	H

Nota: Fuente: Elaborado por Cecibel Román

Al relacionar todos los símbolos se obtiene otros grupos de suelos: gruesos y finos.

2.3.1.2.1 Grupo de suelos gruesos

Los grupos de suelo grueso se dividen en cuatro grupos:

1. GW y SW

Corresponden a una grava y una arena bien graduadas, deben tener menos del 5% de material fino.

El coeficiente de uniformidad (Cu) y el coeficiente de curvatura (Cc) para GW:

- $Cu > 4$
- $3 < Cc > 1$

El coeficiente de uniformidad (Cu) y el coeficiente de curvatura (Cc) para SW:

- Cu > 6
- 3 < Cc > 1

2. GP y SP

Corresponden a una grava y arena mal graduadas, deben tener menos del 5% de material fino. Presenta un aspecto uniforme pero no cumplen con el coeficiente de uniformidad (Cu) y el coeficiente de curvatura (Cc), anteriormente mencionado.

2. GM y SM

Corresponde a una grava y arena limosa, tienen más del 12% de material fino no plásticos. Tienen una plasticidad nula a media, por lo que se recomienda que su índice de plasticidad sea menor a

3. GC Y SC

Corresponden a una grava y arena arcillosa, tienen más del 12% de material fino plástico, la plasticidad de los finos es de media a alta, por lo que se recomienda índice de plasticidad sea mayor a 7 (Badillo, Eulalio, & Rodríguez, Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos Tomo I. Tercer edición , 2000, pág. 642).

2.3.1.2.2 Grupo de suelos finos

Se dividen entre grupos:

1. CL y CH

Corresponden a una arena inorgánica de baja y alta compresibilidad.

El límite líquido para CL

- LL < 50%

La arena inorgánica de baja comprensibilidad comprende en la zona sobre la línea A en la carta de plasticidad.

El límite líquido para CH

- LL > 50%

La arena inorgánica de alta comprensibilidad comprende en la zona de la línea A en la carta de plasticidad.

2. ML y MH

Corresponden a un limo inorgánico de baja y alta comprensibilidad.

El límite líquido para ML e índice de plasticidad:

- LL < 50%
- IP < 4

El limo inorgánico de baja comprensibilidad comprende por debajo de la línea A en la carta de plasticidad.

El límite líquido para MH:

- LL > 50%

El limo inorgánico de alta comprensibilidad comprende sobre o por encima de la línea A en la carta de plasticidad.

3. OL y OH

Corresponden a limos y arcillas orgánicas, se ubican en las mismas zonas que el grupo ML Y MH. Su diferencia es que contienen una cierta cantidad de material orgánico que aumenta el límite líquido, pero no altera el índice plástico, lo que ocasione que este hacia la derecha de la carta de plasticidad, lo cual está más alejado de la línea A.

2.3.1.2.3 Pt

Corresponde a suelos altamente orgánicos, que son la turba o suelos pantanosos altamente compresibles.

El límite líquido para Pt:

- 300% > LL > 500%

El Pt queda por debajo de la línea en la carta de plasticidad (Badillo, Eulalio, & Rodríguez, 2000)

2.3.1.2.3.1 Grupos casos de frontera o doble nomenclatura

Ya sea para los suelos gruesos o finos existen estos casos, se presenta cuando la muestra de suelo no está claramente en la zona de la carta de plasticidad, en estos casos es recomendable usar doble símbolo.

2.3.1.2.3.1.1 Suelos gruesos doble nomenclatura

GW- SW: corresponde para un material bien graduado con menos del 5% de material fino y que la fracción gruesa este compuesta por cantidades iguales de grava y arena.

ML- CL y MH- CH: corresponde para una arcilla limosa de baja y alta compresibilidad, que está sobre la línea A de la carta de plasticidad, y el índice de plasticidad este comprendido entre 4% y 7%. (Badillo, Eulalio, & Rodríguez, 2000).

Para tener una clasificación del suelo buena es necesario tener presente los siguientes parámetros.

- El Porcentaje de grava (peso del suelo), debe pasar el tamiz No. 3" (76,2 mm), el cual es retenido por el tamiz No. 4 (4,699 mm).
- El Porcentaje de Arena (peso del suelo), debe pasar el tamiz No. 4" (4,699 mm), el cual es retenido por el tamiz No. 200 (0,074mm)
- El Porcentaje de limo y arcillas (peso del suelo), debe pasar tamiz No. 200 (0,074mm).
- Conocer el coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura.
- Conocer el límite líquido e índice de plasticidad de la fracción de suelo que pasa el tamiz No. 40. (Badillo, Eulalio, & Rodríguez, 2000)

2.4 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS

2.4.1 Límites de atterberg

Los límites de Atterberg o también conocidos como límites de consistencia, se basan en que los suelos finos que se encuentran en la naturaleza, se pueden presentar en distintos estados, que dependen de su propia naturaleza y de la cantidad de agua que contengan. El suelo se puede presentar en estado sólido, semisólido, plástico, líquido o viscoso; como se observar en la ilustración 1 (Ocon Infante, 2013)

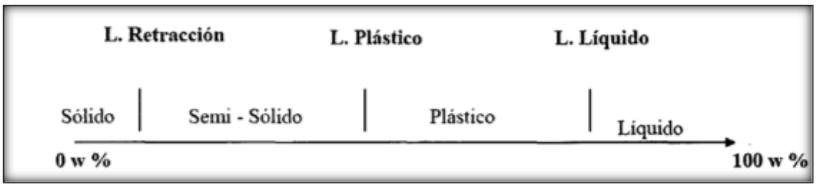


Ilustración 19: Límetes de Atterberg. **Fuente:** *Infante, 2013*

La variación entre estados va a depender del contenido de agua y de un suelo a otro, es fundamental distinguir el rango de humedades en la mecánica de suelos, ya que el suelo tiene un comportamiento plástico, se puede deformar sin romperse, y se conoce como plasticidad. Es la propiedad que definen los suelos hasta cierto límite.

En el año 1911, el científico de origen sueco, Albert Atterberg, se ideó este método para medir los límites de humedad, los cuales son propiedades que ayudan a tener valores de humedad para poder identificar y clasificar un suelo (Ocon Infante, 2013)

2.4.2 Límite Líquido

El límite líquido es el contenido de humedad a partir del cual el suelo se comporta como un líquido viscoso. El suelo a este nivel de contenido de humedad, está en el punto de cambiar su estado al de un fluido viscoso. Este se calculará con un valor aproximado al centésimo, y se debe utilizar material que pase el tamiz de 0.425 (N. 40). Atterberg definió el límite líquido, el cual ha tenido algunas variaciones para su determinación; pero en 1927 Casagrande, sugirió diseñar un dispositivo mecánico para así disminuir los posibles errores del operador en la determinación (Ocon Infante, 2013)

Se determina por el método de Casagrande normalizado según UNE 103-103-94. Se utiliza la cuchara de Casagrande y el suelo que ha pasado el tamiz número 40 (0.4 mm)

2.4.2.1 Procedimiento para determinar el límite líquido

Primero se coloca una muestra húmeda en la cuchara de Casagrande, realizando una hendidura longitudinal con una espátula normalizada dejando caer la cuchara varias veces desde una altura

de un centímetro, después se debe llevar un registro del número de golpes necesarios para cerrar la ranura en una longitud de 12 mm. En la ilustración número 2 se observa el equipo que utilizamos para determinar límite líquido.

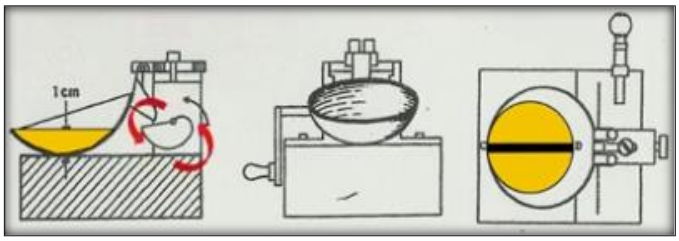


Ilustración 20: Determinación del límite líquido **Fuente:** Sánchez,2019

Se deben realizar varias muestras con diferentes contenidos de humedad cuya ranura se cierra para un número de golpes de abscisas y W en ordenadas. Si se cierra la hendidura de 12 mm con 25 golpes este sería nuestro contenido de humedad (Sánchez Romero, 2019)

2.4.3 Límite Plástico

Es el contenido en humedad por debajo de la cual el suelo se comporta como un sólido, se determina con la ayuda de UNE 103-104-94. El límite plástico es el punto que pasa del estado plástico al semisólido, al cual se va a medir por la cantidad de agua que contenga el material, en el instante que no tenga plasticidad y no pueda ser moldeado (Sánchez Romero, 2019)

Es la humedad que corresponde, cuando el suelo se puede cuartear y se quiebra en momento que se forman rollitos pequeños ó cilindros. Se realizan los ensayos con una fracción de arcilla que pasa el tamiz No. 40, el contenido de humedad debe ser un poco superior al límite plástico. Teniendo una humedad óptima, es posible formar con facilidad una bolita con la arcilla evitando que se resquebraje. El límite líquido y límite plástico son usados en la identificación y clasificación de los suelos (Ocon Infante, 2013)

2.4.3.1 Procedimiento para determinar el límite plástico

Para determinar el límite plástico es necesario tener varias muestras de suelo con el cual vamos a trabajar, formando cilindros de 3 mm de diámetro, como se observa en la ilustración número 3, los cuales se deja secar hasta que se resquebrajen en toda su longitud y podemos calcular la humedad, debido que se obtiene diferentes muestras y se calcula la media de humidades en el cual se va a obtener la humedad (Sánchez Romero, 2019)

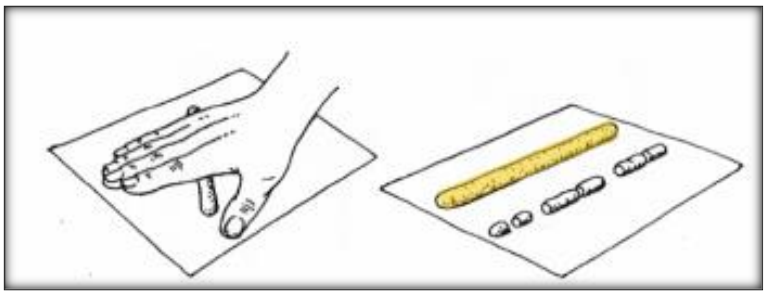


Ilustración 21: Procedimiento para determinar límite plástico. **Fuente:** Sánchez,2019

2.4.4 Índice de Plasticidad

Se expresa con el porcentaje del peso en seco de la muestra del suelo, el cual indica el tamaño de intervalo de variación del contenido de humedad en lo que el suelo se mantiene plástico. Depende únicamente de la cantidad de arcilla que esta contenga y se indique la finura del suelo y de su capacidad para cambiar su estructura sin que se altere su volumen (Shuan Lucas, 2004)

Si se tiene un índice plástico elevado indicará que tiene un exceso de arcilla o de coloides en el suelo. Cuando el límite plástico es superior o igual al límite líquido, su valor va ser igual a cero. El índice de plasticidad indica también comprensibilidad, teniendo un alto índice de plasticidad, la compresibilidad del suelo es mayor. (Shuan Lucas, 2004)

2.4.4.1.1 Determinación del índice de plasticidad

También, señala la magnitud del intervalo de humedades, donde el suelo tiene consistencia plástica (Shuan Lucas, 2004)

Diferencia entre el límite líquido y el límite plástico
IP = LL – LP > 10 Plástico
IP = LL – LP < 10 No Plástico
IP: Índice de plasticidad del suelo, %
LL: Límite líquido, %
LP: Límite plástico, %

Nota: Fuente: Elaborado por Cecibel Román

2.4.4.2 Gráfico de plasticidad de Casagrande

Casagrande mediante la realización de numerosos ensayos, encontró la gráfica que relaciona el límite líquido (LL) y Índice plástico (IP = LL- LP).

1. Se determinó la recta B, por encima de esta recta no se ha encontrado ningún tipo de suelo; como se observa en la ilustración 4.

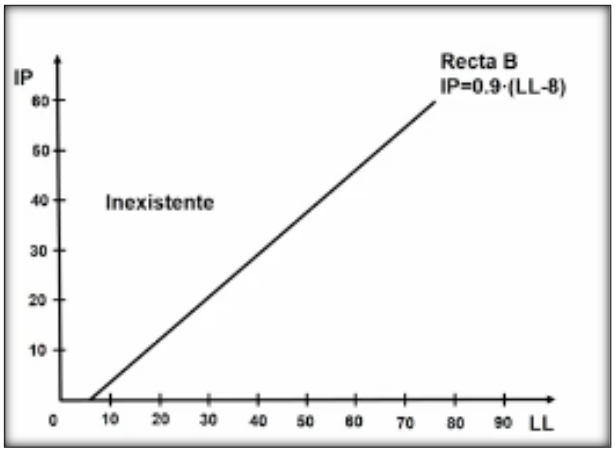


Ilustración 22: Gráfico de plasticidad de Casagrande - Recta A **Fuente:** Sánchez,2019

2. En la ilustración 5, se observa que por debajo de la recta B, está la recta A, la cual separa las arcillas de los limos y suelos orgánicos.

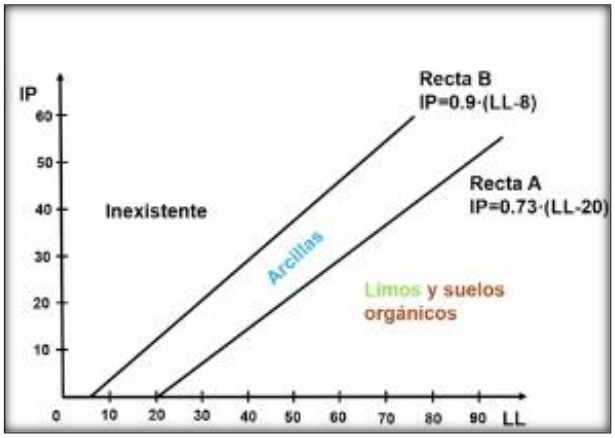


Ilustración 23: Gráfico de plasticidad de Casagrande - Recta B **Fuente:** Sánchez,2019

Dentro de este conjunto los suelos que tienen un límite líquido que sea menor a 50 son suelos poco plásticos y con un bajo límite líquido. Los suelos con el límite líquido mayor a 50 son suelos muy plásticos, en la ilustración 6 se observa que se separa bajo LL y mayor LL con un límite líquido 50.

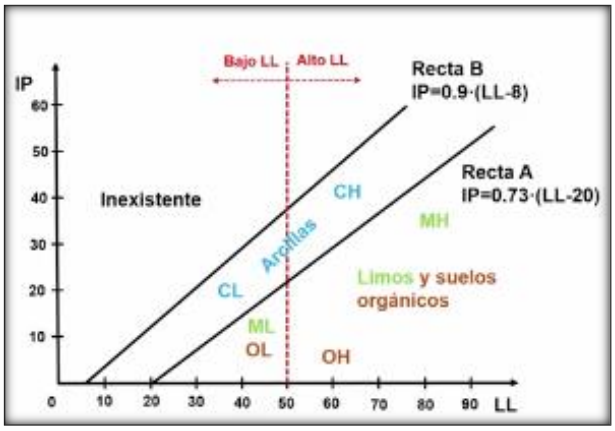


Ilustración 24: Gráfico de plasticidad de Casagrande **Fuente:** Sánchez,2019

Cada suelo quedará definido por un punto:	
Arcillas de alto límite líquido	CH
Arcillas de bajo límite líquido	CL
Limos de alto límite líquido	MH
Limos de bajo límite líquido	ML
Suelos orgánicos de alto límite líquido	OH
Suelos orgánicos de bajo límite líquido	OL

Nota: Fuente: Elaborado por Cecibel Román

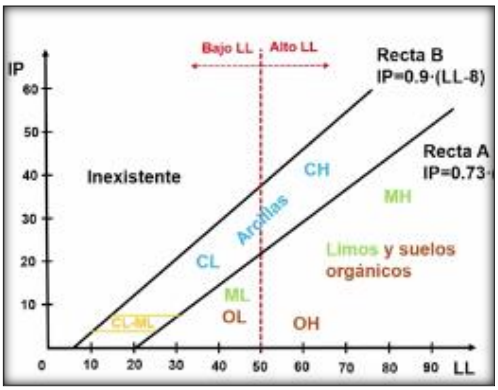


Ilustración 25: Gráfico de plasticidad de Casagrande **Fuente:** Sánchez,2019

2.4.5 Ángulo de fricción interna (Φ)

"Es la representación matemática del coeficiente de rozamiento" (Suárez Díaz, 1998)

El ángulo de fricción va a depender de distintos parámetros los más importantes son:

- Tamaño de los granos.
- Forma de los granos.
- Distribución de los tamaños de granos.
- Densidad

El valor de rozamiento interno del suelo depende de la forma en que las partículas se encuentran dispuestas unas con otras, mientras más compacta es la forma de partículas y lo denso que sea el suelo, tendrá un mayor rozamiento interno y resistencia al corte (Franci, 2014)

2.4.6 Cohesión

Es la capacidad de los cuerpos de mantenerse unidas como un conjunto. *"Se cree que la cohesión verdadera se produce por la atracción molecular de las partículas, y la cohesión aparente se*

produce por la tensión superficial del agua" (Hossne, Paredes, Carvajal, Santaella, & Malaver, 2011, pág. 5)

Hay suelos como las arcillas que tienen esfuerzos friccionales y también aportan con otros factores al ser evaluados la resistencia al esfuerzo de corte. Si una arcilla ha soportado sobrecargas al paso de su vida geológica como estratos que fueron erosionados, estructuras, entre otros. Se podría decir que esta pre-consolidada (Hossne, Paredes, Carvajal, Santaella, & Malaver, 2011)

Al extraer una muestra del material, se debe evitar pérdidas o incrementos de humedad, ya que se observarán presiones inter-granulares, debido al proceso de consolidación la cual es retenida por efecto de la acción capilar sobre la superficie en la muestra. El fenómeno de capilaridad, sobre la muestra actúa una tensión superficial, produciendo una resistencia adicional al esfuerzo cortante a la cual se llamará "cohesión aparente" (Leoni A. J., 1987)

Se conoce como cohesión aparente por lo que es un valor relativo y no es permanente por lo que depende del contenido de agua de la muestra. La cohesión aparente es la atracción entre partículas en suelos finos, tales como limos y arcillas. En las arcillas por la tensión superficial se pierde cuando la muestra es sumergida en el agua, debido que se absorbe el agua (Leoni A. J., 1987)

La cohesión verdadera se la conoce como una forma casi permanente de resistencia al corte, o resistencia al desplazamiento relativo de partículas adyacentes. La cohesión verdadera como aparente tienen el nombre de cohesión y se domina con la letra "c" en la mecánica de suelos (Leoni A. J., 1987)

2.4.7 Peso específico

Los suelos están conformados por partículas dispuestas de una forma determinada que forman una estructura porosa, lo cual conforma la masa. Al analizar las partículas del suelo se demuestra que el peso específico cambia un poco, por ejemplo: las arenas 2,65 kg/dm^3 y en las arcillas tiene una variación de 2,5 – 2,9 kg/dm^3. No se consideran los suelos orgánicos o los suelos que están conformados por diatomeas o diatómicas. Para determinar el comportamiento del suelo, no sé muy significativa la variación del peso específico, ni las propiedades físicas ni mecánicas. (Leoni A. J., 1987)

Al momento de determinar el peso unitario del suelo en consideración (Peso/Volumen), ya se toma en cuenta el valor del peso específico, lo cual permite calcular la tensión que resiste una masa de suelo a una determinada profundidad. (Leoni A. J., 1987)

El peso específico es una relación entre el peso de las partículas (Ws) y el volumen del cuerpo (ecuación 1).

Ecuación 19: Peso específico

$$\textbf{Peso específico} = \frac{\text{Peso de las partículas sólidos (Ws)}}{\text{Volumen de los sólidos (Vs)}}$$

2.4.8 Contenido de humedad óptima

Es el contenido de agua para poder alcanzar el máximo peso específico seco, se llama contenido de agua óptimo. La prueba del Próctor de compactación, es usada para conocer el peso específico seco máximo de compactación y el contenido de agua óptimo (Braja M, 2001)

2.4.9 Densidad de suelos

Se define en 3 conceptos:

- La densidad húmeda (d_h)

  Corresponde al peso de la unidad de volumen del suelo el cual incluye el contenido de agua. Se lo determina con la relación entre el peso (Wm) y el volumen (Vm), el cual se lo expresa en gr/cm^3. (Llique Mondragón, 2003) (Sanz Llano, 1975)

Ecuación 20: Densidad de suelos

$$\text{Dh} = \frac{\text{Wm}}{\text{Vm}}$$

2.4.10 Contenido de Humedad (W%)

El contenido de agua es la cantidad de agua que se encuentra en una muestra de suelo, el cual se determina mediante la relación entre el peso del agua (Ww) que contenga en la muestra y el peso de la muestra en estado sólido (Ws), se lo expresa por lo general en porcentaje. (Llique Mondragón, 2003)

Ecuación 21: Contenido de humedad

$$\text{w (\%)} = \frac{\text{Ww}}{\text{Ws}} * 100$$

2.4.11 Densidad seca (d_s)

Corresponde al peso de la unidad de volumen del suelo seco, es decir, después que fue eliminada el agua (Sanz Llano, 1975). Es la máxima densidad seca que se obtiene mediante el ensayo de compactación, se puede determinar conociendo la densidad húmeda y el contenido de humedad (Llique Mondragón, 2003)

Ecuación 22: Densidad seca

$$Ds = \frac{Dh}{(100 + W\%)} * 100$$

2.4.12 Densidad sumergida (d_i)

Corresponde al peso de la unidad de volumen de suelo colocado en el interior de una masa de agua, considerando el empuje de Arquímedes (Sanz Llano, 1975)

2.4.13 Gravedad específica

Es el peso unitario del material analizado dividido para el peso unitario del agua destilada a 4°C. En los suelos se puede tener diferentes gravedades de acuerdo al volumen del suelo que se va a utilizar (Cevallos Luna, 2012)

Ecuación 23: Gravedad específica

$$Gs = \frac{\gamma s}{\gamma w} = \frac{Ws}{Vs\,\gamma w}$$

Para la gravedad específica se toma un valor promedio para los granos que forman el suelo. Se debe tener claramente que gravedad específica se va a utilizar ya que la gravedad específica de los suelos es mayor a la gravedad específica volumétrica considerando los vacíos del suelo para el cálculo. (Cevallos Luna, 2012)

Es importante conocer la gravedad específica para el cálculo de la relación de vacíos del suelo, es útil realizar el análisis del hidrómetro para el peso unitario del suelo (Cevallos Luna, 2012)

2.4.14 Nivel freático

El nivel freático es el límite que existe entre un suelo saturado de agua y un suelo no saturado, este nivel sube de acuerdo a la filtración de aguas lluvias o de la nieve. Los sedimentos o rocas que se encuentran con agua están saturados (Sowers, 1972)

El nivel freático se encuentra encima de la zona de saturación o también llamada zona freática y en la zona superior se llama zona no saturada. Para el nivel freático pueden influir factores como el clima, la vegetación y también dependerá del uso de la tierra (Sowers, 1972)

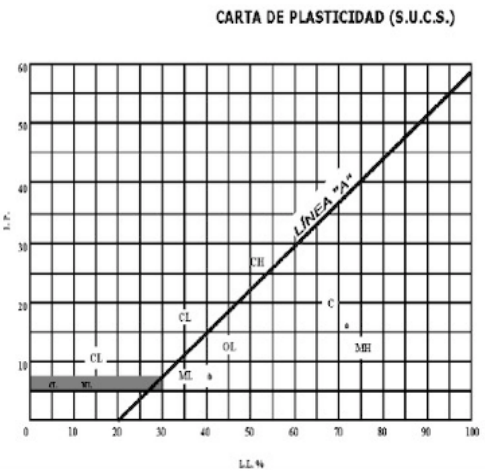
DIVISIÓN MAYOR						SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO	
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS	Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200	Las partículas de 0.074 mm de diámetro (la malla No. 200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	GRAVAS	Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4.	PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE 1/2cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	GRAVAS LIMPIA	Poco o nada de partículas	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	DETERMÍNESE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA, DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (fracción que pasa por la malla No. 200). LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE: Menos del 5% GW, GP, SW, SP; más del 12%; GM, GC, SM,, SC. Entre 5% y 12%; Casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Cu: mayor de 4. | COEFICIENTE DE CURVATURA Cc: entre 1 y 3. | Cu = D60/D10 | Cc = (D30)2/(D10)(D60)
								GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos		NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW.
						GRAVA CON FINOS	Cantidad apreciable de partículas finas	GM - d | u	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo		LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O 1.P. MENOR QUE 4. — Arriba de la "línea A" y con 1.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.
								GC	Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla		LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON 1.P. MAYOR QUE 7. — Arriba de la "línea A" y con 1.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.
			ARENAS	Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4.		ARENA LIMPIA	Poco o nada de partículas finas	SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.		Cu = D60/D10 mayor de 6; Cc = (D30)2/(D10)(D60) entre 1 y 3.
								SP	Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.		No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW.
						ARENA CON FINOS	Cantidad apreciable de partículas finas	SM - d | u	Arenas limosas, mezclas de arena y limo		LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O 1.P. MENOR QUE 4. — Arriba de la "línea A" y con 1.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.
								SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla		LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON 1.P. MAYOR QUE 7. — Arriba de la "línea A" y con 1.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.
SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS	Más de la mitad del material pasa por la malla número 200		LIMOS Y ARCILLAS	Límite Líquido menor de 50				ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	G - Grava, S - Arena, O - Suelo Orgánico, P - Turba, M - Limo, C - Arcilla, W - Bien Graduada, P - Mal Graduada, L - Baja Compresibilidad, H - Alta Compresibilidad	
								CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres		
								OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.		
			LIMOS Y ARCILLAS	Límite Líquido mayor de 50				MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos.		
								CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.		
								OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.		
			SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS					P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.		

Tabla 2: Clasificación general de los suelos según sus propiedades mecánicas. Fuente: Elaborado por Cecibel Román.

2.5 Ensayo normal de penetración

2.5.1 Descripción Metodología

En el año 1902, el ingeniero C. R. Gow, tenía una empresa de fundaciones, para poder verificar la ubicación de los mantos de suelo compactos en profundidad, para la instalación de pilotes, hincada a percusión en el terreno natural (Leoni A. J., 2005)

En el año 1922, se inician las primeras referencias de una cuchara partida de dos pulgadas (2”) de diámetro exterior, la cual se introducía en el suelo a diferentes profundidades, mediante la cual se podía recuperar la muestra de suelos pudiendo ser examinadas ocularmente en la superficie (Leoni A. J., 2005)

El procedimiento de hinca de la cuchara partida, se regulariza en el año 1929, la cual sirve para medir la resistencia a la penetración de los suelos, regularizando con la norma ASTM D1586-84, la cual establece que el peso del pisón hará hincar tiene que tener un peso de 63,5 kg (140 libras) que se lanzará de una altura de 76,2 cm (30 pulgadas), midiendo los golpes para que la cuchara pueda penetras 30 cm (12 pulgadas) en un terreno virgen. (Leoni A. J., 2005)

2.6 Correlación

La correlación expresa el grado de asociación que se tiene entre dos variables, van a depender del sentido de la relación de los términos que pueden ser de aumento o disminución (Martínez Ortega, 2009) Los cuales se clasifican en:

- Lineal o curvilínea, dependiendo de los puntos se convierte en una línea recta o una curva.
- Positiva o directa, aumenta una variable aumenta la otra y así viceversa.
- Negativa o inversa, al crecer una variable, la otra decrece y viceversa.
- Nula, al no tener relación alguna y la distribución de puntos es al azar, lo que significa que no están correlacionados.
- Funcional si existe una función tal que todos los valores de la nube de puntos ña satisfacen (Martínez Ortega, 2009)

2.6.1 Coeficiente de correlación

El coeficiente de correlación se encarga de medir el grado de relación que existe entre dos variables aleatorias. No es apropiado determinar la correlación con dependencia causal, debido que si no se tiene una semejanza formal entre las variables no se tendría semejanza entre sí; se

puede tener una alta correlación entre dos variables a pesar de que no tenga relación de causa o efecto. El coeficiente fluctúa es entre $-1 \leq \rho \leq 1$ (Restrepo & González, 2007)

2.6.2 Coeficiente de correlación de Pearson

El coeficiente de Pearson mide la fuerza o grado de asociación que se tiene entre dos variables aleatorias cuantitativas las cuales tienen una distribución normal bivariado conjunto. Cuando tenemos un dato que da $\rho = +$ la relación es directa entre las variables y si $\rho = -$ significa que la relación es inversa y si se tiene $\rho = 0$ son independientes (Restrepo & González, 2007)

2.6.3 Coeficiente de correlación de Spearman

El coeficiente de Spearman es una medida de asociación lineal que, con ayuda de rangos, números de orden, de cada grupo de sujetos y compara dichos rangos (Restrepo & González, 2007)

Para (Mamani, 2017) las correlaciones de Pearson oscilan entre estos rangos y están determinadas de la siguiente manera según su raíz, como lo indica la ilustración.

CORRELACIÓN	RANGO
(+)(-) Correlación inexistente	0.00 = r < 0.00
(+)(-)Correlación muy baja	0.01 = r < 0.20
(+)(-) Correlación baja	0.21 < r > 0.40
(+)(-) Correlación moderada	0.41 < r > 0.60
(+)(-)Correlación alta	0.61 < r > 0.80
(+)(-)Correlación muy alta	0.81 = r = 0.99
(+)(-) Correlación perfecta	1.00 = r = 1.00

Ilustración 26: coeficiente de correlación de Pearson**.** **Fuente:** (Mamani, 2017)Además de esta ilustración podemos observar que para (Lahura, 2003) existen los siguientes grados de correlación entre las variables.

Coeficiente de Pearson	Grado de correlación entre las variables
R=0	Ninguna correlación
R=1	Correlación positiva perfecta
0<R<1	Correlación positiva
R=-1	Correlación negativa perfecta
-1<R<0	Correlación negativa

Ilustración 27: Grado de Correlación entre las variables. **Fuente:** (Lahura, 2003)

3 CAPÍTULO III

ENSAYOS DEL LABORATORIO

3.1 Ensayos de campo

Los ensayos de campo son necesarios realizarlos para examinar las diferentes capas de subsuelo que se tiene, para así, conocer las propiedades físicas y mecánicas de los mismos, ya que la información adquirida de ensayos de campo ayudará para tomar decisiones como ingenieros civiles, para escoger una adecuada cimentación teniendo en consideración la estructura que deseemos construir. Se evaluará la capacidad de carga de la cimentación, tener un análisis de los asentamientos que puede tener la estructura, reconociendo los problemas de la cimentación como tener en cuenta los niveles freáticos del suelo y tener un pronóstico de la presión lateral de los estratos ocasionada por las estructuras y así poder obtener un método adecuado de construcción para las condiciones que presentan los suelos.

Para el análisis de esta disertación, se estudiará por medio de dos tipos de muestras de suelos que son: muestras alteradas y muestras no alteradas. Las muestras alteradas se las realiza con la ayuda del sacamuestras o también conocida cuchara partida, el cual se utiliza para ir recogiendo muestras de suelo para inspeccionarlas visualmente, dichas muestras alteradas sirven para realizar ensayos como un análisis granulométrico, límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, contenido de humedad, peso específico y clasificación del suelo.

En cambio, las muestras no alteradas nos dan resultados y parámetros del suelo más específicos como lo son: la resistencia del suelo, ángulo de fricción, cohesión, entre otros parámetros, teniendo muestras no alteradas se puede realizar ensayos como corte directo, corte triaxial y consolidación.

Para el tema de disertación es indispensable tener el estudio del subsuelo, se debe emplear el ensayo de penetración estándar (SPT). Para así, obtener muestras con la cuchara partida, que en la ilustración 11 se observa el implemento a utilizarse y muestras de tubo de pared delgada tipo shelby como se indica en la ilustración 12, al realizar los ensayos mencionados nos ayudará para obtener muestras alteradas y así conocer la resistencia del suelo atreves del número de penetración estándar (N).

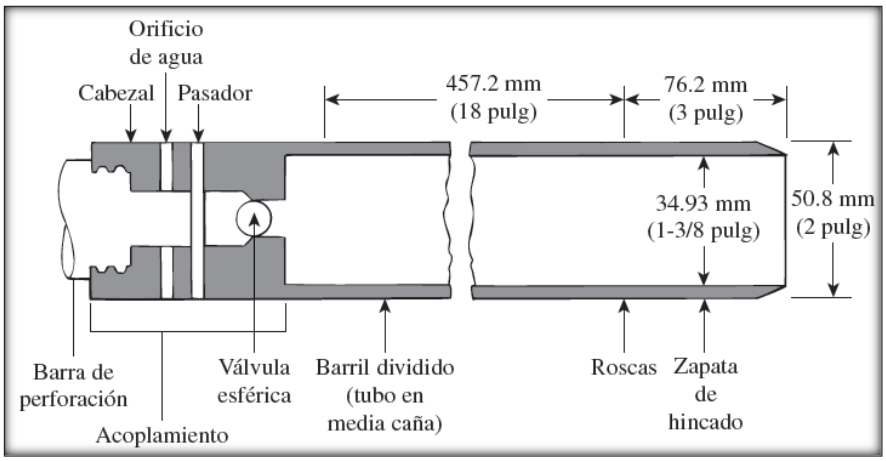


Ilustración 28: *Cuchara Partida.* ***Fuente:*** (Das Braja, 2012)

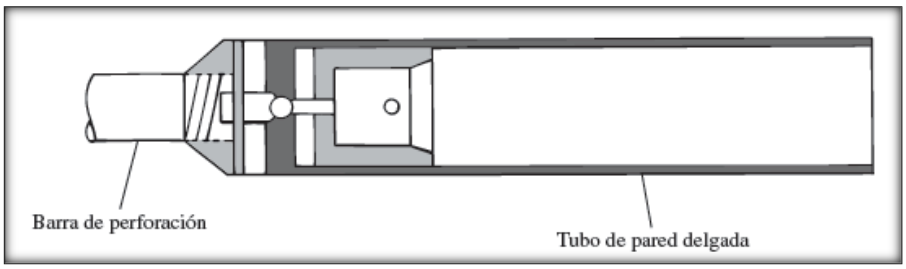


Ilustración 29: Tubo tipo Shelby **Fuente:** *(Das Braja, 2012)*

3.1.1 Ensayo de penetración estándar (SPT)

REFERENCIAS: INEN: 689; AASHTO: T-206; ASTM: D-1586

1) Alcance

Determinar, la resistencia del suelo in situ, con un procedimiento aproximado, mediante el cual se recupera la muestra de suelo con la ayuda de la cuchara partida, esta muestra servirá para tener una caracterización en campo y comprobar las propiedades físicas-mecánicas en el laboratorio.

2) Definición

El ensayo de penetración estándar (SPT), se va a utilizar para conocer de forma indirecta el grado de resistencia en un suelo no cohesivo, con la ayuda del número de golpes que necesita el muestreador para que se pueda hincar 45 cm, con la ayuda del peso del martinete lanzando desde una altura establecida por la norma.

3) Equipo necesario

- Equipo de perforación, penetrómetro de tubo partido.
- Muestreador de cuchara partida.

- Muestreador de pared delgada tipo Shelby.
- Martinete de 63,5 kg.
- Barra rígida de acero.
- Vástago ensanchado cabeza de golpe.
- Dispositivo para accionar martinete.
- Barras de conexión.

4) Procedimiento

1. Para iniciar el ensayo se debe tener una perforación al nivel que se va a realizar el ensayo de penetración.
2. Se procede a retirar las barras de perforación, se debe cambiar la mecha de corte y colocar la cuchara partida.
3. Para cada uno de los metros de profundidad se ejecuta una perforación empezando desde la cota que queremos.
4. Luego, colocaremos un taco de madera que estará apoyado en el suelo y contra la cañería, el cual lo utilizaremos como referencia para medir 3 tramos consecutivos de 15 cm cada uno, en total tendremos 45 cm, estas marcas se realizan en la cañería de la perforación, procedemos a hincar la cañería con la ayuda del martinete, con una caída libre de 76 cm.
5. Tener en cuenta que la barra rígida de acero, que nos ayuda como guía en la caída del martinete este vertical, para que la energía de los golpes no nos afecte por la fricción.
6. Es recomendable que el martinete penetre 15 cm, para así prevenir la zona de alteración ocasionada por la energía de perforación, este proceso se considera como preparación y ajuste para el ensayo, se considera los primeros golpes tienen un valor relativo de orientación.
7. Hincados los primeros 15 cm, se inicia el ensayo, contando el número de golpes necesarios para que la cuchara partida penetre los 30 cm restantes, para así conocer la resistencia del suelo.
8. Luego de hincado el suelo, ya obtener la muestra, se debe girar por lo menos dos revoluciones para que se corte la muestra en el fondo.
9. Se procede a sacar la cuchara partida a la superficie, se desarma y se abre el muestreador para medir la longitud de la muestra recuperada, no se considera la parte superior de la muestra ya que no es representativa.
10. Se procede a colocar la muestra en doble funda de plástico, para evitar perder la humedad natural.

11. Finalmente, se coloca una etiqueta en la funda plástica con el nombre del proyecto, número de perforación, número de muestra, la profundidad de la que obtuvimos la muestra, para llevar al laboratorio y poder realizar los ensayos necesarios.



Fotografía No. 1: Ensayo de penetración estándar **Fuente:** Registro fotográfico. Cecibel Román.



Fotografía No. 2: Cuchara Partida. **Fuente:** Registro fotográfico. Cecibel Román.

5) Metodología de cálculo

El ensayo de penetración estándar es expresar el valor de N para una relación energética promedio de N60 (60%). El número de golpes obtenidos en los ensayos deben ser rectificados por una corrección de acuerdo a los procedimientos y basándonos en lo observado en campo, para así estandarizar el número de golpes como una función de la energía de entada del martinete, sobrecarga de presión, su disipación de la cuchara partida al suelo.

Ecuación 24: Número de penetración estándar.

$$N_{60} = \frac{N\, n_H n_B n_S n_R}{60}$$

Dónde:

N60: número de penetración estándar, corregido por las condiciones en el campo

N: número de penetración medido

n_H : eficiencia del martinete (%)

n_B: corrección por el diámetro de la perforación

n_S: corrección del muestreador

n_R: corrección por longitud de la barra

Para tener las variaciones de n_H, n_B, n_S y n_R, se utilizará teorías de Seed y colaboradores (1985) y Skempton (1986); las cuales se resumen en las siguientes tablas. (Das Braja, 2012, pág. 84).

Tabla 3: *Variación de n_H*

País	**Tipo de martinete**	**Liberación del martinete**	$\boldsymbol{n_H}$(%)
Japón	Toroide	Caída Libre	78
	Toroide	Cuerda y polea	67
Estados Unidos	De seguridad	Cuerda y polea	60
	Toroide	Cuerda y polea	45
Argentina	Toroide	Cuerda y polea	45
China	Toroide	Caída Libre	60
	Toroide	Cuerda y polea	50

Nota: Fuente: Elaborado por Cecibel Román

Tabla 4: *Variación de n_B*

Diámetro (mm)	$\boldsymbol{n_B}$
60-120	1.0
150	1.05
200	1.15

Nota: Fuente: Elaborado por Cecibel Román

Tabla 5: *Variación de* n_S

Variable	$\mathbf{n_S}$
Muestreador estándar	1.0
Con recubrimiento para arena y arcilla densas	0.8
Con recubrimiento para arena suelta	0.9

Nota: Fuente: Elaborado por Cecibel Román

Tabla 6: *Variación de* n_R

Longitud de la barra (m)	$\mathbf{n_R}$
> 10	1.0
6 - 10	0.95
4 – 6	0.85
0 – 4	0.75

Nota: Fuente: Elaborado por Cecibel Román

Se debe tener una normalización del número de golpes Nspt que es la presión lateral del terreno que será con respecto a un valor unitario de presión. La normalización del número de golpes Nspt influyen varios factores como la presión lateral del terreno s'_{v0} = 1,0325 Kg/cm2 (s'_{v0} = 10,33 t/m2), es necesario para conocer la variación que existe entre la presión vertical con la profundidad. (Gimenez & Gustavo, 2003)

3.1.2 Perforaciones en Campo

Para desarrollar la disertación se realizará treinta perforaciones en la Santo Domingo de los Tsáchilas, para tener datos necesarios del comportamiento del suelo. A continuación, detallaremos la ubicación de donde realizamos las perforaciones con las correspondientes coordenadas UTM, las cuales se tomaron con la ayuda del equipo en campo.

3.1.2.1 Ubicación de perforaciones

3.1.2.1.1 Coordenadas

TRAMO TRANS ELECTRIC - LA CADENA - GRUPO 1				
PERFORACIÓN	NOMBRE	NORTE (m)	ESTE (M)	COTA (m.s.n.m)
1	V1 (T-LC)	9970852,81	708537,92	496,95
2	V2 (T-LC)	9970782,28	708331,33	494,9
3	V3(T-LC)	9970918,13	708282,31	497,6
4	V4 (T-LC)	9970992,39	708309,24	500,25
5	V5 (T-LC)	9971174,8	708403,62	501,45
6	V6(T-LC)	9971089,24	707846,3	501,25
7	V7(T-LC)	9970128,35	706228,93	499,5
8	V8(T-LC)	9970097,26	705785,44	490,2
9	V9(T-LC)	9969632,21	704401,25	498
10	V10(T-LC)	9969594,57	704282,03	496,75
11	V11(T-LC)	9969251,13	703249,93	469,9
12	V12(T-LC)	9968940,27	703173,76	459,56
TRAMO LA CADENA - QUEVEDO - GRUPO 2				
13	V1(LC-QU)	9968903,68	703117,95	515,52
14	V2(LC-QU)	9968869,36	702991,73	514,18
15	V3(LC-QU)	9969180,39	703069,83	518,35
16	V4(LC-QU)	9968696,08	701849,21	511,9
17	V5(LC-QU)	9968704,73	701688,74	509,31
18	V6(LC-QU)	9969435,49	700585,06	494,12
19	V7(LC-QU)	9969460	700465,76	493,04
20	V8(LC-QU)	9969499,27	700150,16	498,3
21	V9(LC-QU)	9969355,86	700017,95	498,07
22	V10(LC-QU)	9969428,41	699936,56	493,79
23	V11(LC-QU)	9969354,3	699881,79	491,4
24	V12(LC-QU)	9969403,95	699807,05	495,02
TRAMO QUEVEDO - INTERSECCIÓN - EL CARMÉN				
25	V1(QV-ILST)	9969442,58	699799,83	494,94
26	V2(QV-ILST)	9969918,61	700212,3	504,13
27	V3(QV-ILST)	9969961,1	700313,65	502,88
28	V4(QV-ILST)	9970307,09	700167,89	495,36
TRAMO ARCA - EL CARMEN - GRUPO 3				
29	V1(A- CARM)	9971458,98	699958,87	496,95
30	V2(A- CARM)	9971965,34	699803,59	494,9
31	V3(A- CARM)	9972134,73	699840,6	497,6
32	V4(A- CARM)	9972360,53	699988,08	500,25

33	V5(A- CARM)	9972415,64	700003,89	501,45
34	V6(A- CARM)	9972509,58	699976,82	501,25
35	V7(A- CARM)	9972736,35	699836,5	499,5
36	V8(A- CARM)	9972996,41	699786,97	490,2
37	V9(A- CARM)	9973083,78	699737,42	498
38	V10(A- CARM)	9973144,29	699660,34	496,75
39	V11(A- CARM)	9973304,66	697941,76	469,9
40	V12(A- CARM)	9973588,68	697220,1	459,56
TRAMO CENTENARIO – QUITO - GRUPO 4				
41	V12(C-Q)	9972295,2	706911,83	587,53
42	V11(C-Q)	9972525,39	706702,36	581,93
43	V10(C-Q)	9972651,54	706488,24	591,27
44	V9(C-Q)	9972766,33	706292,45	588,27
45	V8(C-Q)	9972985,67	705948,35	577,61
46	V7(C-Q)	9973654,64	705554,41	566,66
47	V6(C-Q)	9974208,12	704879,95	551,36
48	V5(C-Q)	9974256,25	704795,46	546,8
49	V4(C-Q)	9974327,14	704427,29	550,41
50	V3(C-Q)	9974315,92	704316,9	549
51	V2(C-Q)	9974298,76	704255,37	547,35
52	V1(C-Q)	9974262,74	704179,45	544,41

Nota: Fuente: Elaborado por Cecibel Román

3.1.2.2 Ensayos de laboratorio

3.1.2.2.1 Contenido de Humedad Natural (W)

Referencias: Inen:690; AASHTO: T-93, ASTM: D 2216

1. ***Alcance***

El ensayo de contenido de humedad nos permite determinar el porcentaje de agua que contiene el suelo.

2. ***Definición***

El contenido de humedad es la relación que existe entre la masa de partículas líquidas y la masa de partículas sólidas.

3. ***Equipo necesario***

- Balanza de sensibilidad de 0.01 gr para masa menor a 200 gr y aproximadamente 0.1 gr para masa mayor a 200 gr.
- Tarros de humedad.
- Horno de temperatura constante (110 ± 5 °C).

4. Procedimiento

1. Determinar y escribir la referencia del proyecto como por ejemplo identificar la muestra con el nombre del proyecto, número de perforación, número de muestra, la profundidad, fecha y lugar.
2. Se escogerá un tarro y se procede a pesarlo (Mt) y se identifica.
3. Luego, se coloca la muestra húmeda en el tarro escogido anteriormente, y se procede a pesarlo conjuntamente (Mtm), y se anota el resultado de la balanza.
4. Se procede a colocar el tarro con la muestra húmeda en el horno con una temperatura constante de 110 ± 5 °C por un lapso de 12 a 16 horas hasta que se observe que la muestra este completamente seca.
5. Una vez que la muestra se encuentre seca se retira del horno, se pesa nuevamente y se anota el resultado (Mts).

	Cápsula	**Cápsula (gr)**	**Cápsula + Suelo húmedo**	**Cápsula + Suelo seco**
Material Retenido (Tamiz #4)				
Material Pasa (Tamiz #4)				

Tabla 7: Hoja de datos contenido de humedad
Fuente: Elaborado por Cecibel Román, tomado como referencia la hoja de laboratorio de materiales de construcción de la PUCE.

3.1.2.3 Cálculos

Ecuación 25: Porcentaje de agua

$$w\% = \frac{Mw}{Ms} * 100$$

Ecuación 26: Masa de agua contenida

$$Mw = Mtm - Ms$$

w%: Porcentaje de agua.
Mw: Masa de agua contenida
Mtm: Masa del tarro con la muestra húmeda.
Ms: Masa del suelo seco.

Nota: Fuente: Elaborado por Cecibel Román

3.1.2.4 Análisis Granulométrico por tamizado

Referencias: AASTHO: T-87, T-88; ASTM: D 421, D422

1. Alcance

Determinar la medida granulométrica de los suelos.

2. Definición

El ensayo de análisis granulométrico por tamizado nos ayuda para conocer los porcentajes de suelo que pasan por los tamices establecidos en la norma.

3. Equipo necesario

- Tamices de 3″, 2 1/2″, 2″, 1 1/2″, 1″, 3/4″, 1/2″, 3/8″, No. 4, 10, 40, 200; adicional debemos colocar la tapa y fondo.
- Balanza de sensibilidad de 0.01 gr.
- Horno de temperatura constante (110 ± 5 °C).
- Cápsula de porcelana.
- Cepillo metálico.

4. Procedimiento

1. Para iniciar el ensayo de granulometría se requiere haber realizado el ensayo de contenido de humedad, para tener el porcentaje de agua (w%).
2. Se procede a pesar la muestra húmeda (Mm).
3. Se continúa colocando la muestra húmeda en los tamices del No. 40 y No. 200.
4. Se lava la muestra con ayuda de movimientos giratorios, disolviendo los terrones que se formen del suelo, se realiza hasta que obtener un agua cristalina.

5. El material retenido por el tamiz No. 40 y No. 200, se coloca en recipiente con agua para poder pasar el material retenido.
6. Los recipientes con el material, colocamos en el horno a una temperatura constante de 110 ± 5 °C, hasta que las muestras estén secas.
7. Se arma la serie de tamices que se va a utilizar en el ensayo.
8. Una vez seca la muestra, se coloca en la serie de tamices.
9. Se tamiza la muestra por un tiempo aproximado de 10 minutos.
10. Finalmente, se pesa el material retenido por cada uno de los tamices.

TAMIZ		**MASA RETENIDA**		**%**	**%**	**%que pasa**
INEN	ASTM	parcial	acumulado	Retenido	que pasa	especificado
76,00mm	3'					
63,00mm	2½'					
50,80mm	2'					
38,00mm	1½'					
25,40mm	1'					
19,00mm	¾'					
12,70mm	½'					
9,50mm	⅜'					
4,75mm	No.4					
pasa 4,75mm						
Σ			ARENA			
4,75mm	No.4					
2,00mm	No.10					
425 µm	No.40					

75 µm	No.200					
Pasa 75 µm						

Tabla 8: Hoja de datos para ensayo granulométrico. **Fuente:** Elaborado por Cecibel Román

5. Cálculos

Ecuación 27*:* Masa de muestra seca

$$Ms = \frac{Mm}{1 + \frac{w\%}{100}}$$

w%: Porcentaje de agua

Mm: Masa de muestra húmeda

Ms: Masa de la muestra seca

Nota: Fuente: Elaborado por Cecibel Román

Ecuación 28: Masa retenida acumulada

$$pasa\ No.200 = Ms - Mrac200$$

Mrac200: Masa retenida acumulada en el tamiz No. 200.

Nota: Fuente: Elaborado por Cecibel Román

3.1.2.5 Límite líquido

Referencias: INEN 691, AASHTO T-89, ASTM D 4318

1. Alcance

Determinar el límite líquido del suelo.

2. Definición

Es el porcentaje de agua que necesita el suelo para pasa de un estado líquido a un estado plástico.

3. Equipo necesario

- Copa de Casagrande puede ser manual o automático.
- Ranurador puede ser curvo o plano.
- Espátula metálica de dimensiones: 2 cm de ancho y de 10-13 cm de longitud.

- Cápsulas para mezclado.
- Tamiz No.40
- Mortero y pistillo de caucho.
- Tarros de humedad.
- Balanza de sensibilidad de 0.01 gr
- Horno (110 ± 5 °C).

4. Procedimiento

1. Para iniciar el ensayo se necesita el material que pasa el tamiz No. 40, se toma alrededor de 100 gr de material, se agrega agua hasta obtener una consistencia manejable.
2. Se procede a colocar la mezcla formada en la copa de Casagrande, formando una capa con un espesor de 1cm aproximadamente, se recomienda que la copa de Casagrande se encuentre húmeda.
3. La muestra debe tener una superficie uniforme.
4. Se realiza una ranura por la mitad de la muestra con la ayuda del ranurador curvo.
5. Se enciende la copa de Casagrande, y se cuenta el número de golpes hasta que se cierre la ranura que se realizó inicialmente.
6. Se procede a tomar una parte de muestra con ayuda de la espátula en donde cerró la ranura, esto servirá para saber el contenido de humedad.
7. Para verificar el ensayo se debe realizar el procedimiento de 1 a 5 veces, es necesario ir variando el contenido de agua, hasta comprobar que 3 puntos estén dentro de los límites que pueden ser: 25 - 30, 20 - 30, 15 - 25.

Límite Líquido				
Número de Golpes	Cápsula	Cápsula (gr)	Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	cápsula + Suelo seco(gr)

Tabla 9: Hoja de datos para ensayo Límite Líquido. **Fuente:** Elaborado por Cecibel Román

5. Cálculos

1. Cada uno de los puntos que ensayamos, se debe determinar el porcentaje de agua w%.
2. Se realiza un gráfico con los puntos que se obtuvo del ensayo, en las abscisas se encuentran el número de golpes en escala logarítmica, y en las ordenadas tenemos el contenido de humedad.
3. Para tener el límite líquido del suelo se obtienen los 25 golpes el valor en la ordenada.

3.1.2.6 Límite Plástico

Referencias: INEN 692, AASHTO T-90, ASTM D 4318.

1. *Alcance*

Definir el límite plástico del suelo.

2. Definición

Es el contenido de agua para que le suelo tenga un cambio de estado plástico a estado semisólido.

3. Equipo necesario

- Placa de vidrio esmerilado de 30 x 30 cm.
- Cápsula para mezclado.
- Espátula metálica de 2 cm de ancho y de longitud 10-13 cm.
- Tarros de humedad.
- Balanza de sensibilidad de 0.01 gramos.
- Tamiz No. 40.
- Horno de temperatura constante (110 ± 5 °C).

4. Procedimiento

1. Para iniciar el ensayo se necesita 15 gramos de material que pase el tamiz No. 40, luego se coloca en un recipiente y se agrega agua, con la ayuda de le espátula se mezcla hasta obtener una consistencia suave y uniforme.
2. Se toma unos 2 gramos del material aproximadamente y con la ayuda de las manos se forma un rollo.
3. Luego que ya se forma el rollo, se coloca en la placa de vidrio y se continúa amasando hasta obtener un rollo con un diámetro de 3.2 mm aproximadamente, es recomendable no amasar más de 2 minutos.
4. Observar si nuestro rollo tiene fisuras o desmenuzamiento, si no se es necesario repetir el paso 2 y 3.

5. Para continuar con el ensayo, se formar rollos hasta obtener un peso aproximado de 6 gramos mínimo.
6. Una vez ya realizado los rollos se coloca en 2 cápsulas, se procede a pesarlas y meterlas en el horno.

5. ***Cálculos***.

Ecuación 29: Límite de plástico

$$LP = \frac{w1\% + w2\%}{2}$$

$\boldsymbol{w1}\%$: Porcentaje de agua de la primera cápsula.
$\boldsymbol{w2}\%$: Porcentaje de agua de la segunda cápsula.

Nota: Fuente: Elaborado por Cecibel Román

3.1.2.7 Clasificación de Suelos.

3.1.2.7.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Referencias ASTM D 2487

a. Alcance

Analizar el tipo de suelo que estamos estudiando para conocer su simbología basados en la SUCS.

b. Definición

El sistema unificado es una clasificación de suelos la cual nos ayuda para conocer las características a través del ensayo granulométrico y los límites de Atterberg.

c. Simbología Empleada.

El sistema Unificado utiliza un prefijo y un sufijo para calificar los distintos tipos de suelos, los detallaremos en las tablas a continuación

Prefijos empleados por el Sistema Unificado SUCS, para identificar el suelo.	
Prefijo	Sufijo
Grava	G
Arena	S
Limo	M
Arcilla	C
Orgánico	O
Turba	**Pt**

Tabla 10: Prefijos empleados por el sistema unificado SUCS. **Fuente:** (Das Braja, 2012)

Sufijos empleados por el Sistema Unificado SUCS, para identificar el suelo.	
Prefijo	Sufijo
Bien Graduado	W
Pobremente graduado	P
Limoso	M
Arcilloso	C
Límite líquido alto > 50	L
Límite líquido bajo < 50	H

Tabla 11: Sufijos por el Sistema Unificado SUCS **Fuente:** (Das Braja, 2012)

d. Procedimiento.

1. Para realizar el ensayo de clasificación del suelo SUCS, es necesario haber realizado los ensayos previos de granulometría y límites de atterberg.
2. Obtener los porcentajes de material retenido en los tamices y lo que pasa de material, estos datos se tienen del ensayo granulométrico.

3. Estimar si el material estudiado es de grano fino o grano grueso, este paso se lo realiza con la ayuda del material que pasa el tamiz No. 200, si se tiene un porcentaje de material mayor al 50% que pasa el tamiz No. 200, se considera suelo fino, si no es así se considera grano grueso.
4. Definir el fragmento de arena, grava y el fragmento toral gruesa del material.
5. Encontrar el porcentaje de arena y grava del suelo.
6. Obtenidos los datos, se basará en las tablas por la ASTM y la carta de plasticidad, para reconocer el tipo de suelo al que pertenece.
7. Estimar que el suelo estudiado es un suelo granular o compuesto de limo y arcilla, se utilizará con el porcentaje que pase el tamiz No. 200, si este porcentaje es mayor al 35% se tendrá un suelo compuesto de limo y arcilla, si no es así se considera como suelo granular.

e. **Cálculos**

Ecuación 30: Fracción de arena

$$Fracción\ de\ Arena = \%retenido\ tamiz\ No.200 - \%retenido\ tamiz\ No.4$$

Ecuación 31: Fracción Grava

$$Fracción\ Grava = \%retenido\ tamiz\ No.4$$

Ecuación 32: Fracción total del suelo grueso

$$Fracción\ total\ del\ suelo\ grueso\ = Fraccón\ grava + Fracción\ arena$$

Ecuación 33: Porcentaje de arena

$$\%Arena\ = \frac{Fracción\ grava}{Fracción\ total\ del\ suelo\ grueso} \times 100$$

3.2 Resumen de datos obtenidos en campo.

En este punto de la disertación vamos a elaborar un resumen con parámetros importantes, de los cuales nos vamos a basar para los siguientes capítulos.

3.2.1 Caracterización de suelos encontrados

Describir los diferentes tipos de suelos que se encuentra al realizar las perforaciones del proyecto las cuales se clasificarán mediante el sistema unificada SUCS.

3.2.1.1 Descripción manual- vial del suelo

PROF (m)	SUCS	DESCRIPCIÓN MANUAL -VISUAL DEL SUELO
1	CH	Arcilla de alta plasticidad, color café claro, con poca gravilla, húmedo
1	CH	Arcilla de alta plasticidad, color café claro, húmedo.
1	CH	Limo arenoso de color café claro de humedad media y plasticidad media
2	CH	Arcilla de alta plasticidad de color café claro con poca gravilla, húmeda.
2	CL	Arcilla de mediana plasticidad, color café, con oxidaciones, húmedo
2	CH	Arcilla de alta plasticidad, color café claro, húmedo
3	CH	Arcilla blanca amarillenta con oxidaciones de color blanco con humedad media y plasticidad alta.
3	CH	Limo de alta plasticidad, color café claro, húmedo.
3	CL	Arcilla de mediana plasticidad de color café habano con oxidaciones poco húmeda.
3	CH	Limo arenoso de color café claro de humedad media y plasticidad media.
4	CH	Arcilla de alta plasticidad de color café verdosa saturada con poca gravilla.
4	CH	Arcilla arenosa blanquecina con oxidaciones de humedad alta y plasticidad alta.
4	CH	Arcilla de color café con oxidaciones de humedad media y plasticidad media.
4	CH	Arcilla de mediana plasticidad de color blanco con oxidaciones, húmedo.
4	CH	Arcilla de mediana plasticidad de color gris saturada.
5	CH	Arcilla de mediana plasticidad, color café claro, con oxidaciones, húmedo.
5	CH	Arcilla de mediana plasticidad de color blanca poco húmeda.
5	CH	Arcilla blanquecina de humedad alta y plasticidad alta.
5	CH	Arcilla de color café claro con manchas blancas de humedad media y plasticidad alta - relleno.
6	CL	Arcilla limosa de baja plasticidad, color gris.
6	CH	Arcilla de alta plasticidad de color café habana con manchas blancas y oxidaciones saturada.
6	CH	Arcilla de color café claro de humedad media y plasticidad alta.
6	CH	Arcilla de color café claro de alta plasticidad y humedad media.
7	CL	Limo arcilloso de alta plasticidad, color café claro, con oxidaciones, húmedo.
7	CH	Arcilla con grava de color gris de humedad alta y plasticidad baja.
7	CH	Arcilla arenosa de color gris con gravas, de humedad media y plasticidad alta.
7	CH	Arcilla de color café claro de humedad media y plasticidad alta.
9	CH	Arcilla de alta plasticidad de color café claro con oxidaciones poco húmedo.
10	CH	Arcilla de alta plasticidad, color café oscuro, con oxidaciones, húmedo.

4 CORRELACIONES IV

Para el correcto desarrollo de las correlaciones, de todo el universo muestra en la presente investigación vamos a separar todas las muestras en cinco tramos, los cuales se los escogió dependiendo de la profundidad de análisis para los ensayos de corte directo en laboratorio.

Para los ensayos de las muestras a realizar solo se logró obtener muestras inalteradas ya que después de los diez metros se llegó a un estrato de suelo de alta penetración, y en ciertos casos se encontró con turba de color negro por lo que el método de penetración para la obtención de la muestra no podía seguir perforando.

Los resultados obtenidos de los ensayos de penetración estándar, nos ayudan para establecer correlaciones con el ángulo de fricción del suelo (φ), la densidad relativa (Dr), el peso unitario (Y), la resistencia al corte sin drenar (su) y también estimar el módulo de esfuerzo-deformación. A pesar de que la validez de las correlaciones siempre este en discusión, el uso de esto permite la aplicación en la solución de los problemas de fundiciones, vialidad, y estabilidad de taludes.

Por consiguiente, los tramos obtenidos van a estar detallados a continuación y fueron sometidos a un análisis comparativo para poder verificar que los datos obtenidos por el laboratorio fueron correctos, en las siguientes tablas se puede visualizar los rangos establecidos para cohesión, ángulo de fricción y peso específico según los autores consultados.

78 INAE Lett (2016) 1:77–84

Table 1 Ranges of SPT *N* value with cohesion for cohesive soils

SPT *N* value	>30	15–30	8–15	4–8	2–4	<2
Cohesion, kPa	192	96–192	48–96	24–48	12–24	12
Soil conditions	Hard	Very stiff	Stiff	Firm	Soft	Very soft

Data from Karol (1960)

Ilustración 30: Correlación del Nspt Vs Cohesión **Fuente:** (Kumar, Bhargava, & Choudhury, 2016)

Tipo de terreno	w(kg/m3)	ϕ(°)
Arcilla suave	1440 a 1920	0° a 15°
Arcilla media	1600 a 1920	15° a 30°
Limo seco y suelto	1600 a 1920	27° a 30°
Limo denso	1760 a 1920	30° a 35°
Arena suelta y grava	1600 a 2100	30° a 40°
Arena densa y grava	1920 a 2100	25° a 35°
Arena suelta, seca y bien graduada	1840 a 2100	33° a 35°
Arena densa, seca y bien graduada	1920 a 2100	42° a 46°

Ilustración 31: Ángulo de fricción para suelos cohesivos **Fuente:** (Rahman, 2019)

con el número de golpes, N, del ensayo normal de penetración Consistencia	N	q_u kg/cm^2	intervalo aprox. de γ_{sat} (t/m^3)
Muy blanda	0 – 2	0 – 0.25	1.10 – 1.20
Blanda	2 – 4	0.25 – 0.50	1.20 – 1.30
Media	4 – 8	0.50 – 1.00	1.40 – 1.50
Firme	4 -15	1.00 – 2.00	1.50 – 1.70
Muy firme	15 – 30	2.00 – 4.00	1.50 – 1.70
Dura	≥30	≥4.00	1.60 – 1.90

Ilustración 32: Correlación del Nspt Vs peso específico **Fuente:** (Rodríguez Herrera, 2015)

4.1 EVALUACIÓN DE DATOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO.

Para la obtención de los datos de cohesión, ángulo de fricción y peso específico, realizaremos un ensayo de corte directo en el laboratorio como se observa en los anexos, método que consiste en deslizar una porción de suelo respecto a otra porción de suelo en un plano de falla que será predeterminado por la acción de una fuerza de corte aplicada de manera horizontal que irá incrementando su valor progresivamente, mientras se va a aplicar una carga perpendicular al plano de del movimiento.

PROF (m)	Nspt	Cohesión (ton/m2)	Valores referencias Cohesión (ton/m2)	Lista de chequeo
1	5	5.15	2.45 - 4.89	No
1	3	4.21	1.22 - 2.45	No
1	4	3.75	2.45 - 4.89	Si
2	9	6.22	4.89 - 9.79	Si
2	6	4.57	2.45 - 4.89	Si
2	7	4.89	2.45 - 4.89	Si
3	9	5.14	4.89 - 9.79	Si
3	14	4.90	4.89 - 9.79	Si
3	6	4.63	2.45 - 4.89	Si
3	7	4.56	2.45 - 4.89	Si
4	8	5.18	4.89 - 9.79	Si
4	7	4.84	2.45 - 4.89	Si
4	6	4.77	2.45 - 4.89	Si
4	12	5.10	4.89 - 9.79	Si
4	11	7.81	4.89 - 9.79	Si
5	8	4.98	4.89 - 9.79	Si
5	8	5.77	4.89 - 9.79	Si
5	2	4.47	1.22 - 2.45	No
5	15	7.23	4.89 - 9.79	Si
6	9	4.85	4.89 - 9.79	Si
6	8	5.94	4.89 - 9.79	Si
6	8	7.41	4.89 - 9.79	Si
6	6	7.07	2.45 - 4.89	No
7	7	4.24	2.45 - 4.89	Si
7	12	5.46	4.89 - 9.79	Si
7	5	5.27	2.45 - 4.89	Si
7	7	5.68	4.89 - 9.79	Si
9	5	5.57	4.89 - 9.79	Si
10	5	5.57	4.89 - 9.79	Si

Tabla 12: Lista de chequeo para cohesión

PROF (m)	Nspt	Ángulo de Fricción	Valores referencias Ángulo de fricción (ton/m2)	Lista de chequeo
1	5	16.31	0 - 30	Si
1	3	11.67	0 - 30	Si
1	4	11.75	0 - 30	Si
2	9	13.21	0 - 30	Si
2	6	21.81	0 - 30	Si
2	7	14.11	0 - 30	Si
3	9	26.05	0 - 30	Si
3	14	19.16	0 - 30	Si
3	6	18.09	0 - 30	Si
3	7	14.17	0 - 30	Si
4	8	17.36	0 - 30	Si
4	7	25.55	0 - 30	Si
4	6	21.59	0 - 30	Si
4	12	19.81	0 - 30	Si
4	11	17.45	0 - 30	Si
5	8	14.57	0 - 30	Si
5	8	19.83	0 - 30	Si
5	2	11.07	0 - 30	Si
5	15	23.78	0 - 30	Si
6	9	14.04	0 - 30	Si
6	8	24.27	0 - 30	Si
6	8	17.61	0 - 30	Si
6	6	16.36	0 - 30	Si
7	7	12.75	0 - 30	Si
7	12	26.47	0 - 30	Si
7	5	19.16	0 - 30	Si
7	7	21.21	0 - 30	Si
9	5	19.83	0 - 30	Si
10	5	19.83	0 - 30	Si

Tabla 13: Lista de chequeo para ángulo de fricción

PROF (m)	Nspt	ϒ ton/m3	Valores referencias peso específico (ton/m2)	Lista de chequeo
1	5	1.4	1.50 -1.70	No
1	3	1.4	1.50 -1.70	No
1	4	1.5	1.50 -1.70	Si
2	9	1.5	1.50 -1.70	Si
2	6	1.6	1.50 -1.70	Si
2	7	1.5	1.50 -1.70	Si
3	9	1.7	1.50 -1.70	Si
3	14	1.5	1.50 -1.70	Si
3	6	1.5	1.50 -1.70	Si
3	7	1.5	1.50 -1.70	Si
4	8	1.5	1.50 -1.70	Si
4	7	1.6	1.50 -1.70	Si
4	6	1.6	1.50 -1.70	Si
4	12	1.6	1.50 -1.70	Si
4	11	1.5	1.50 -1.70	Si
5	8	1.5	1.50 -1.70	Si
5	8	1.6	1.50 -1.70	Si
5	2	1.4	1.50 -1.70	No
5	15	1.6	1.50 -1.70	Si
6	9	1.6	1.50 -1.70	Si
6	8	1.6	1.50 -1.70	Si
6	8	1.6	1.50 -1.70	Si
6	6	1.6	1.50 -1.70	Si
7	7	1.5	1.50 -1.70	Si
7	12	1.6	1.50 -1.70	Si
7	5	1.6	1.50 -1.70	Si
7	7	1.6	1.50 -1.70	Si
9	5	1.6	1.50 -1.70	Si
10	5	1.6	1.50 -1.70	Si

Tabla 14: Lista de chequeo para peso específico.

Como se puede observar se obtuvieron datos correctos en los ensayos de corte directo elaborados en el laboratorio de suelos, por lo que se procede a realizar las correlaciones entre el número de golpes NSPT, N60, ANGULO DE FRICCIÓN Y PESO ESPECIFICO.

4.2 ELABORACIÓN DE GRAFICAS DE CORRELACIONES

Previa a la obtención de los parámetros de corrección se especificara que la energía teórica del equipo utilizado para la obtención de los valores de N60 es de 473 Joules, considerando que el peso del martillo es de 63,5kg, que será multiplicado por una altura de 75cm y finalmente multiplicado por la gravedad, sin embargo para dicha corrección varios autores como Skempton, 1986 y Cestari, 1990, indican que la energía para realizar este tipo de correcciones será el 60% de la Energía teórica obtenida.

Sin embargo, para la obtención de la correlación más adecuada para nuestro diseño de pilotes solo usaremos los datos obtenidos de ensayos de campo con lo que respecta a número de golpes en el ensayo de NSPT y de esta manera seremos conservadores al tratar de encontrar una homogeneidad en los suelos de estudio y así evitar datos con valores abruptos de R que no van a satisfacer con el fin de esta investigación.

4.2.1 Datos generales

PROF (m)	15 cm	30 cm	45 cm	Nspt	N60	ϒ ton/m3	W%	LL	LP	IP	SUCS	Cohesión (ton/m2)	Ángulo de Fricción
1	2	2	3	5	3	1.44	36.55	66.50	23.93	42.57	CH	5.15	16.31
1	1	2	1	3	1	1.43	30.51	62.70	19.62	25.08	CH	4.21	11.67
1	1	1	3	4	3	1.46	39.31	45.00	24.48	46.02	CH	3.75	11.75
2	4	4	5	9	7	1.50	34.43	60.90	20.81	40.09	CH	6.22	13.21
2	2	3	3	6	5	1.62	31.00	65.00	19.00	46.00	CL	4.57	21.81
2	3	4	3	7	5	1.47	34.00	62.90	29.18	33.72	CH	4.89	14.11
3	6	5	4	9	8	1.65	43.75	67.40	41.77	25.63	CH	5.14	26.05
3	3	6	8	14	13	1.51	32.45	65.50	24.28	41.22	CH	4.90	19.16
3	3	3	3	6	5	1.51	42.00	67.00	41.00	26.00	CL	4.63	18.09
3	3	4	3	7	5	1.50	36.00	59.00	33.00	21.00	CH	4.56	14.17
4	4	4	4	8	6	1.53	54.00	65.00	40.00	25.00	CH	5.18	17.36
4	3	4	3	7	6	1.59	46.23	70.40	42.03	28.37	CH	4.84	25.55
4	4	3	3	6	5	1.62	51.05	66.20	48.77	23.43	CH	4.77	21.59
4	5	5	7	12	11	1.55	35.00	70.00	37.00	33.00	CH	5.10	19.81
4	4	4	7	11	9	1.50	43.00	57.90	32.26	25.64	CH	7.81	17.45
5	4	4	4	8	6	1.51	49.39	75.45	18.24	57.21	CH	4.98	14.57
5	4	4	4	8	8	1.63	62.00	60.00	35.00	25.00	CH	5.77	19.83
5	1	1	1	2	1	1.43	41.66	69.50	39.90	23.60	CH	4.47	11.07
5	6	7	8	15	14	1.59	49.47	67.20	26.68	40.52	CH	7.23	23.78
6	4	4	5	9	8	1.60	44.00	65.00	22.00	43.00	CL	4.85	14.04
6	4	4	4	8	7	1.63	62.33	63.60	25.61	37.99	CH	5.94	24.27
6	4	4	4	8	7	1.59	60.89	62.70	28.53	34.17	CH	7.41	17.61
6	2	3	3	6	5	1.59	42.61	69.40	30.12	39.28	CH	7.07	16.36
7	3	3	4	7	6	1.51	47.00	63.00	21.00	42.00	CL	4.24	12.75
7	5	6	6	12	12	1.60	52.55	68.50	41.65	26.85	CH	5.46	26.47
7	2	3	2	5	5	1.59	49.57	66.90	26.30	40.60	CH	5.27	19.16
7	3	4	3	7	6	1.58	44.56	54.50	29.33	45.17	CH	5.68	21.21
9	3	2	3	5	4	1.55	29.40	55.50	36.33	35.00	CH	5.57	19.83
10	3	2	3	5	5	1.55	29.40	55.50	36.33	36.00	CH	5.57	19.83

Tabla 15: Datos generales obtenidos en el laboratorio y en campo.

4.2.2 Correlación Nspt vs cohesión

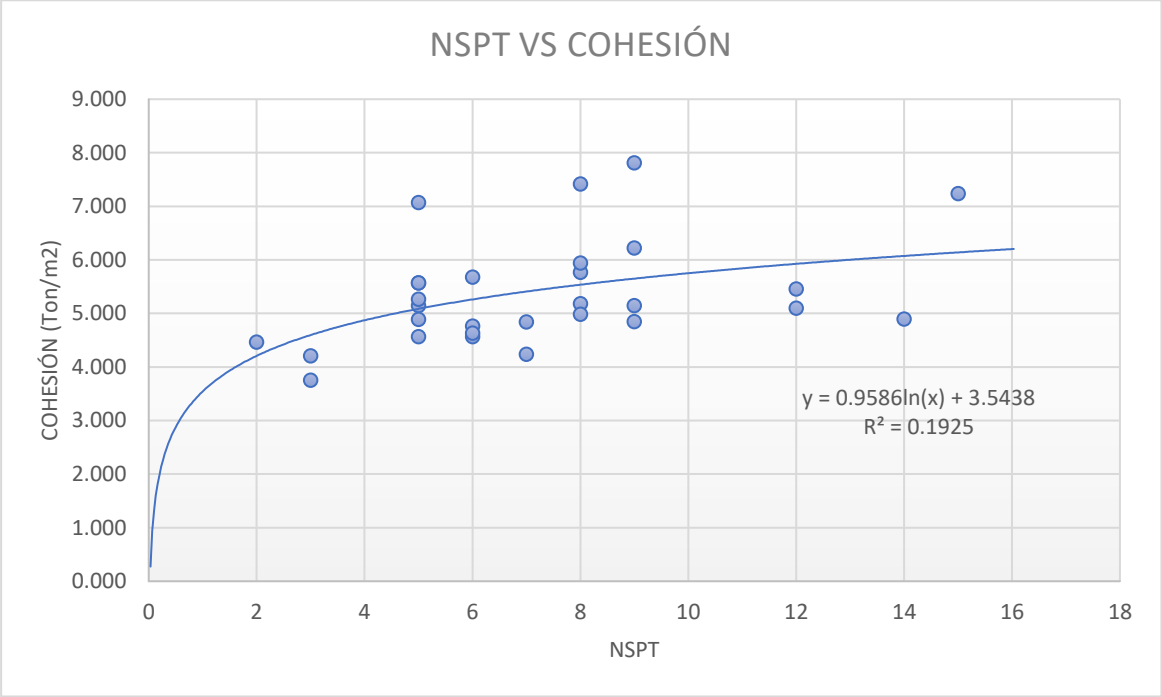


Gráfico 1: Correlación Nspt vs cohesión

4.2.3 Correlación Nspt vs ángulo de fricción

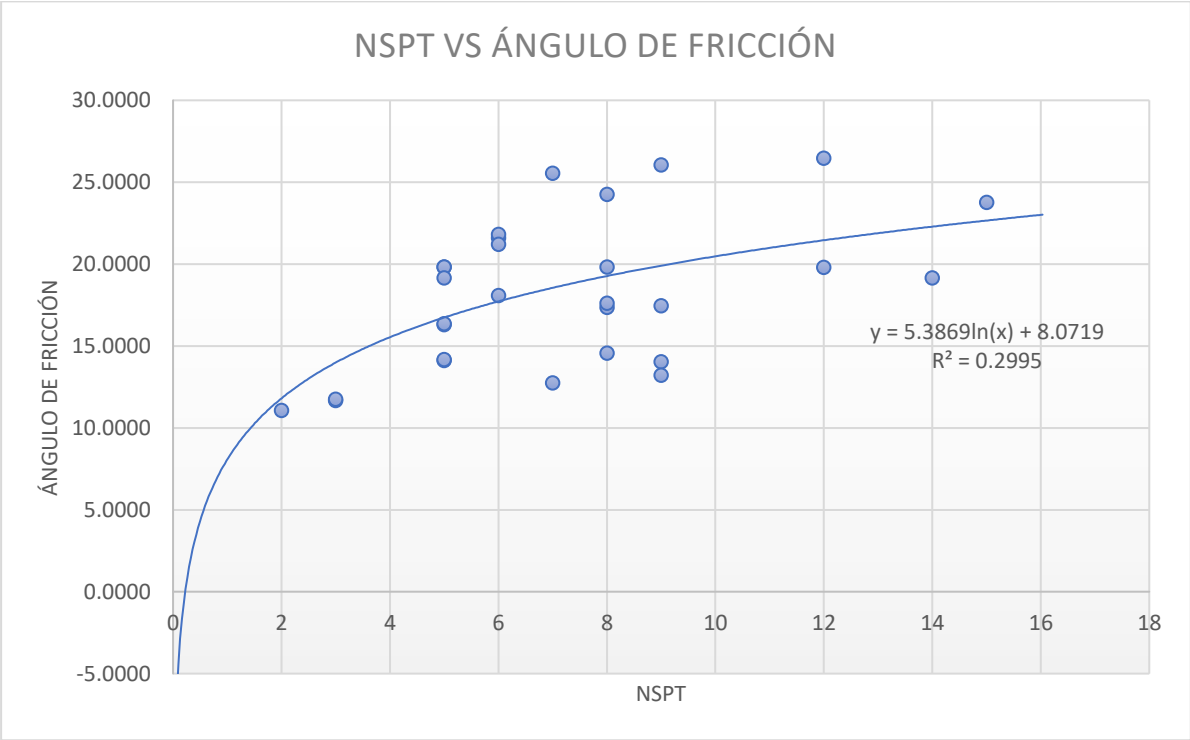


Gráfico 2: Correlación Nspt vs ángulo de fricción

4.2.4 Correlación Nspt vs peso específico

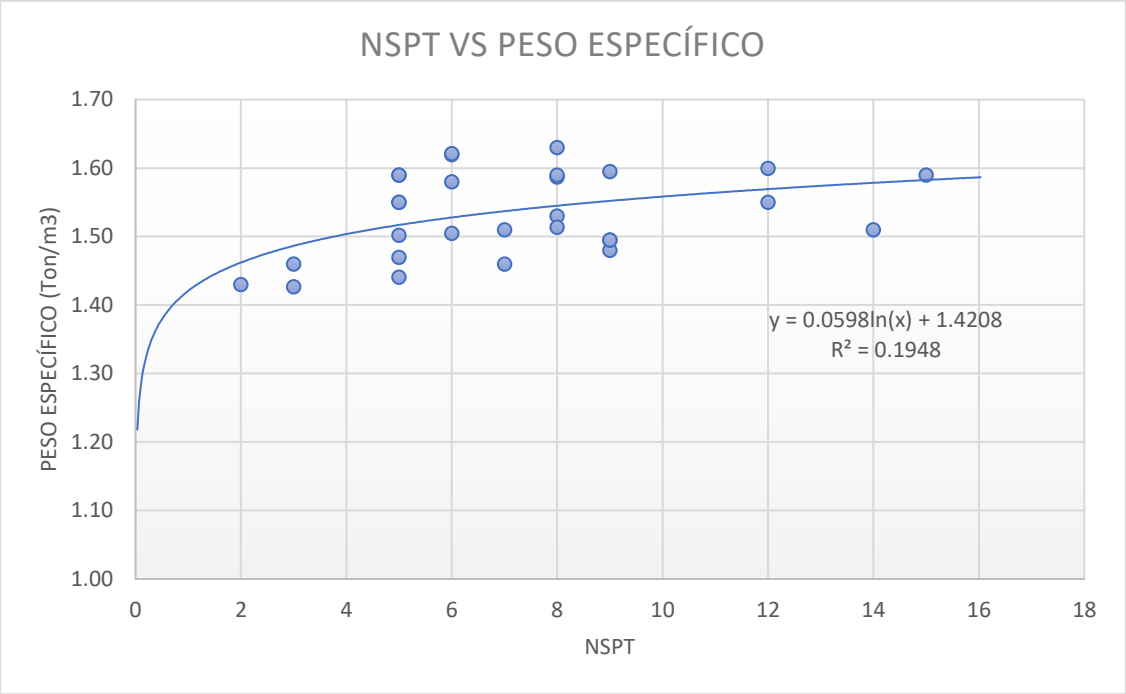


Gráfico 3: Correlación Nspt vs peso específico

4.2.5 Correlación N60 vs cohesión

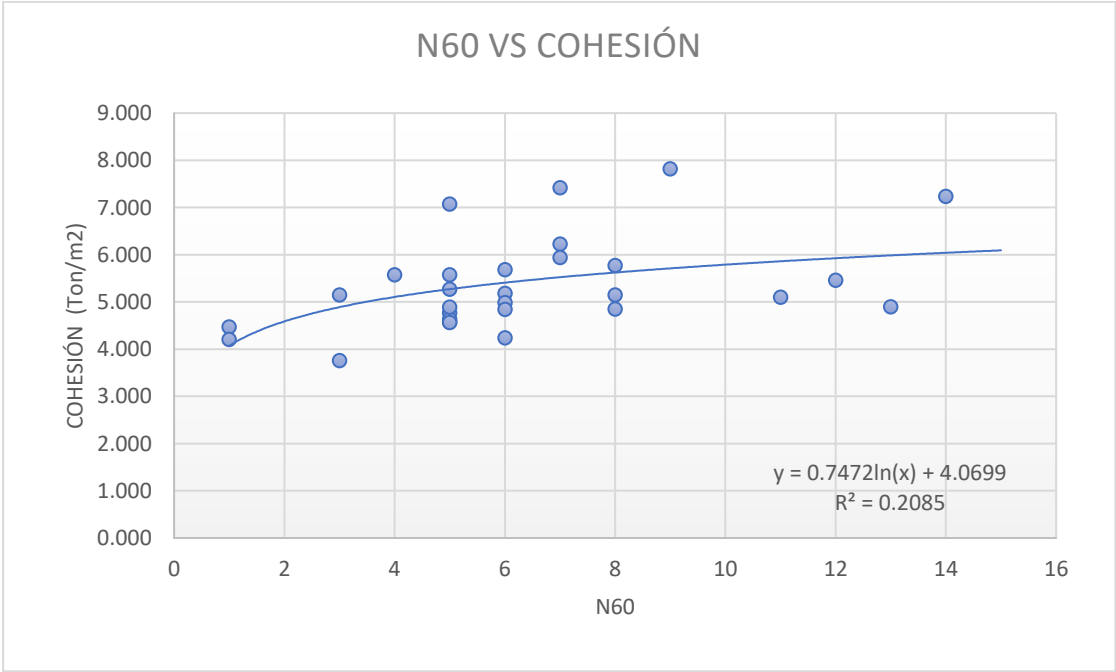


Gráfico 4: Correlación N60 vs cohesión

4.2.6 Correlación N60 vs ángulo de fricción

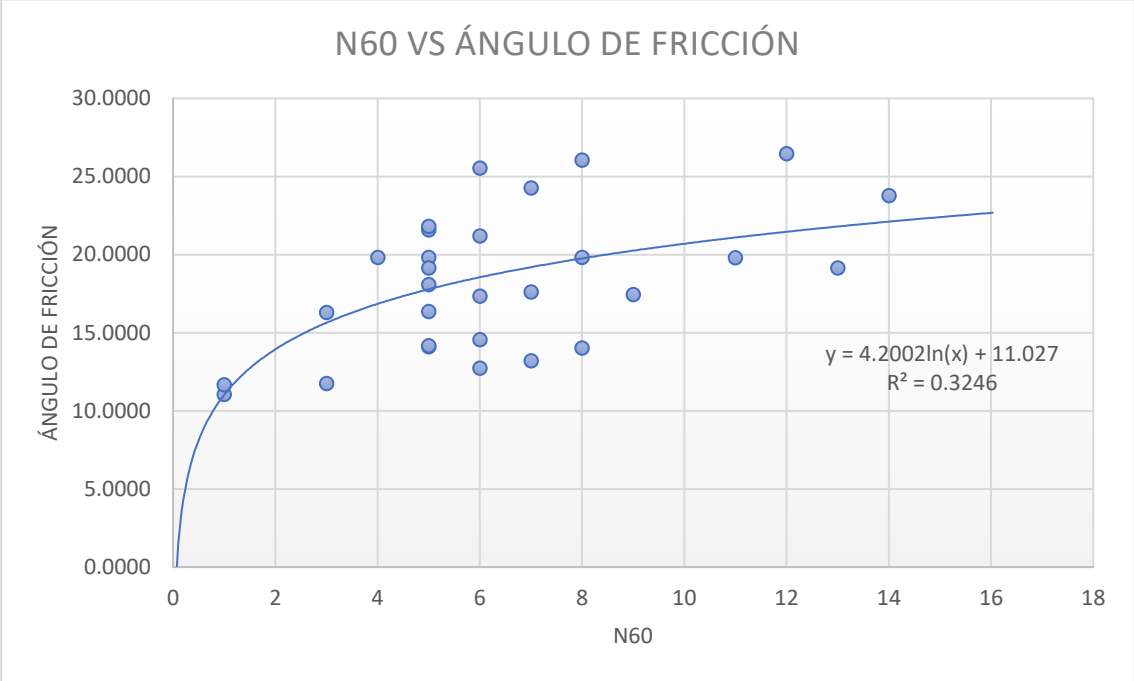


Gráfico 5: Correlación N69 vs ángulo de fricción

4.2.7 Correlación N60 vs peso específico

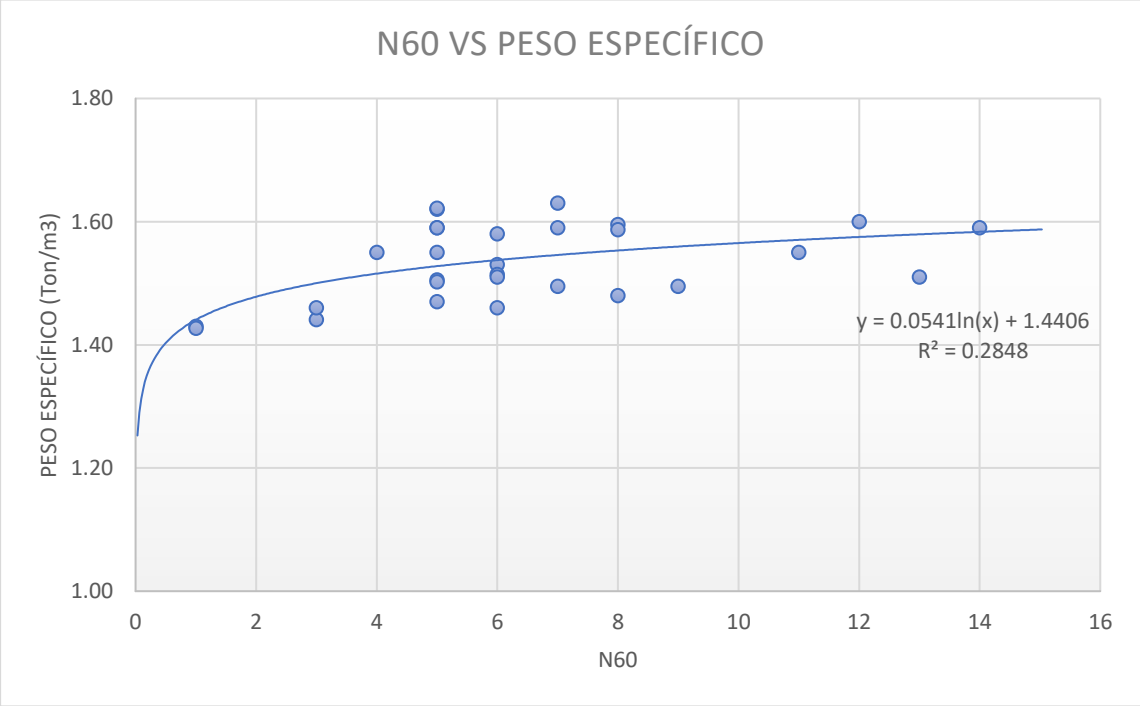


Gráfico 6: N60 vs peso específico

5 CAPÍTULO V

DISEÑO DE PILOTES

Para el diseño de Pilotes se realizó una evaluación previa con la ayuda de todas las correlaciones corregidas y formuladas en el capítulo 4 al final siguiendo recomendaciones de usar tan solo datos obtenidos para arcillas y suelos cohesivos, descartando de esta manera a la presencia de arenas para de esa manera obtener resultados verdaderos que nos permitan realizar análisis comparativos y así encontrar los datos adecuados para el diseño conservador de los pilotes.

5.1 DESARROLLO DEL PROGRAMA PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE CARGA EN EL PILOTE

I. Para el primer intento vamos a ingresar los siguientes datos para la primera prueba del programa, que todos son datos conocidos de las perforaciones realizadas en la ciudad de Santo Domingo:

DATOS			
HE	9.5	m	nivel freático
Pa	10	t/m2	presión atmosférica
D	0.5	m	Diámetro del pilote
Z	15	m	penetración del pilote
L	8	m	Longitud del pilote
Ap	0.20	m2	Área a la punta
As	12.57	m2	área perimetral del pilote
Ep	2.90E+07	t/m2	Módulo de elasticidad del material del pilote
ε	0.5	m/m	Deformación unitaria
CP	0.03		Coeficiente empírico de 0.03-0.06
Cs	0.05		constante empírico
ϕ_{qp}	0.35		factor de resistencia por fricción
ϕ_{qs}	0.35		factor de resistencia por punta

II. Los siguientes datos a ingresar serán los obtenidos de las perforaciones realizadas dependiendo el sector que vayamos a analizar, en este caso serán para el vértice 1 del Tramo La cadena – Quevedo con una profundidad de 15 metros.

CAPA	COTA		TIPO DE SUELO	NSPT obtenido en campo	N corregido	Nspt corregido por eficacia del martillo N(60)
	Zo (m)	Zf (m)				
1	495.36	494.36	ARCILLA	5	5	4
2	494.36	492.36	ARCILLA	6	6	5
3	493.36	490.36	ARCILLA	10	10	8
4	492.36	488.36	ARCILLA	8	8	6
5	491.36	486.36	ARCILLA	9	9	8
6	490.36	484.36	ARCILLA	10	10	9
7	489.36	482.36	ARCILLA	11	11	10
8	488.36	480.36	ARCILLA	10	10	10
9	487.36	478.36	ARCILLA	9	9	9
10	486.36	476.36	ARCILLA	13	13	12
11	485.36	474.36	ARCILLA	30	30	30
12	484.36	472.36	ARCILLA	30	30	30
13	483.36	470.36	ARCILLA	31	31	31
14	482.36	468.36	ARCILLA	30	30	30
15	481.36	466.36	ARCILLA	30	30	30

III. Como siguiente paso vamos a ingresar los datos obtenidos de NSPT en cada metro de la perforación a analizar, para poder ver las diferencias que existen entre las cohesiones, ángulos de fricción y pesos específicos que arrojara cada correlación dispuesta y obtenida en esta investigación.

CAPA	COTA		TIPO DE SUELO	NSPT obtenido en campo	N corregido	Nspt corregido por eficacia del martillo N(60)	Cohesión de correlaciones	Ángulo de Fricción de correlación	Peso Específico correlación
	Zo (m)	Zf (m)					CU(t/m2)	Grados	
1	495.36	494.36	ARCILLA	5	5	4	5.27	17.79	1.53
2	494.36	492.36	ARCILLA	6	6	5	5.41	18.55	1.54
3	493.36	490.36	ARCILLA	10	10	8	5.79	20.70	1.57
4	492.36	488.36	ARCILLA	8	8	6	5.62	19.76	1.55
5	491.36	486.36	ARCILLA	9	9	8	5.71	20.26	1.56
6	490.36	484.36	ARCILLA	10	10	9	5.79	20.70	1.57
7	489.36	482.36	ARCILLA	11	11	10	5.86	21.10	1.57
8	488.36	480.36	ARCILLA	10	10	10	5.79	20.70	1.57
9	487.36	478.36	ARCILLA	9	9	9	5.71	20.26	1.56
10	486.36	476.36	ARCILLA	13	13	12	5.99	21.80	1.58
11	485.36	474.36	ARCILLA	30	30	30	6.61	25.31	1.62
12	484.36	472.36	ARCILLA	30	30	30	6.61	25.31	1.62
13	483.36	470.36	ARCILLA	31	31	31	6.64	25.45	1.63
14	482.36	468.36	ARCILLA	30	30	30	6.61	25.31	1.62
15	481.36	466.36	ARCILLA	30	30	30	6.61	25.31	1.62

IV. Ingresaremos las fórmulas de correlaciones para datos generales y para las correlaciones obtenidas en los cinco grupos realizados podemos observar lo siguiente:

5.2 Ecuaciones de correlaciones:

Datos Generales

Cohesión:

$$0.7472\ln(x) + 4.0699 = 0$$

Angulo de fricción:

$$4.2002\ln(x) + 11.027 = 0$$

Peso Específico:

$$0.0541\ln(x) + 1.4406 = 0$$

DATOS OBTENIDOS DE CORRELACIONES CON NSPT		
Cohesión de correlaciones	Ángulo de Fricción de correlación	Peso Específico correlación
CU(t/m2)	Grados	(t/m3)
5.27	17.79	1.53
5.41	18.55	1.54
5.79	20.70	1.57
5.62	19.76	1.55
5.71	20.26	1.56
5.79	20.70	1.57
5.86	21.10	1.57
5.79	20.70	1.57
5.71	20.26	1.56
5.99	21.80	1.58
6.61	25.31	1.62
6.61	25.31	1.62
6.64	25.45	1.63
6.61	25.31	1.62
6.61	25.31	1.62

5.3 Cálculo de capacidad pilotes pre barrenados

5.4 Capacidad a fricción (q_S)

En la sección de la norma AASHTO LRFD 2014, es recomendable utilizar el método α para calcular la resistencia lateral unitaria del pilote qs porque es este el adecuado para arcillas, que es el suelo predominante para esta investigación.

5.4.1 Método α

Para el cálculo de la capacidad a fricción con el método α, se utiliza la siguiente ecuación 11:

$q_s = \alpha S_u$ Ec. 10.8.3.5.1 b-1 AASHTO LRFD 2014

Los valores de alfa dependerán de las siguientes condiciones:

- Cuando $\frac{S_u}{P_a} \leq 1.5$, entonces α = 0.55 para Ec. 10.8.3.5.1 b-2 AASHTO LRFD 2014
- Cuando $1.5 \leq \frac{S_u}{P_a} \leq 2.5$, entonces $\alpha = 0.55 - 0.1\left(\frac{S_u}{P_a} - 1.5\right)$ Ec. 10.8.3.5.1 b-3 AASHTO LRFD 2014

Dónde:

q_s = capacidad a fricción (ton/m^2)

Su = corte no drenado (ton/m^2)

Pa = Presión atmosférica (10 ton/m^2)

5.5 Capacidad a punta (q_p)

En la sección 10.8.3.5.1c de la norma AASHTO LRFD 2014, para el cálculo de la resistencia unitaria a la punta recomienda utilizar el método de (Bowles, 1988) para los suelos cohesivos, donde utilizaremos la ecuación 6:

5.5.1 Método de Bowles (2010)

$q_p = N_c S_u \leq 390 \frac{t}{m^2}$ Ec. 10.8.3.5.1 c-1 AASHTO LRFD 2014

$N_c = 6\left(1 + 0.2\left(\frac{Z}{D}\right)\right) \leq 9$ Ec. 10.8.3.5.1 c-2 AASHTO LRFD 2014

Dónde:

D = ancho o diámetro del pilote.

Para el cálculo del pre diseño de pilotes hay que tener en cuenta que la normativa AASHTO exige que el diámetro del pilote debe ser mayor o igual 760 milímetros y el diámetro de las columnas debe ser menor o igual al diámetro del pilote.

Z= penetración del pilote.

Su= resistencia al corte no drenado que se obtendrá a partir de los resultados obtenidos en campo o será el resultado de pruebas de laboratorio en muestras no alteradas que serán obtenidas a una profundidad de 2 veces de diámetro por debajo de la punta del pozo.

Nc= 36, si el Factor Nc $\leq$ 9; sin embargo la normativa recomienda que Nc = 9 para cálculos de diseño.

Adicional a esto la norma indica que si el suelo dentro de los 2D presenta un Su< 0,50 ksf o 2,45 t/m², el valor de Nc tendrá que ser multiplicado por 0,67.

La ecuación antes descrita solo funcionará para valores en los que N60 sea menor o igual a 50

El valor de q_p se limita a resultados menores o iguales a 60ksf (294 ton/m^2) a menos que se demuestre valores superiores con ensayos de laboratorio

Para $N_{60} \geq 50$; $q_p = 294$ ton/m^2

5.6 Cálculo de diseño de pilotes

5.6.1 Resistencia nominal por fricción, Rs

La resistencia nominal por fricción se calcula con la ecuación 9:

$R_S = q_s A_S$ Ec. 10.8.3.5-3 AASHTO LRFD 2014

Para el cálculo del área de la superficie de contacto, se utiliza la siguiente ecuación 10:

$$A_S = \pi * DL$$

$A_S =$ área de la superficie de contacto.

D = diámetro de pilote.

L = longitud del pilote

5.6.2 Resistencia nominal a punta del pilote, Rp

A través del soporte en la punta del pilote se transmiten cargas por medio de agua o de suelos blandos hasta suelos con suficiente capacidad portante. Para el cálculo se utilizara la ecuación 4:

$R_p = q_p A_p$ Ec. 10.8.3.5-4 AASHTO LRFD 2014

Para el cálculo del área de la sección transversal, se utiliza la siguiente ecuación 5:

$$A_p = \frac{\pi * (D)^2}{4}$$

Dónde:

D = diámetro de pilote.

$A_p =$ área de la sección transversal.

5.6.3 Resistencia admisible del pilote, Rs

En la sección 10.8.3.5 de la norma AAHTO LRFD 2014, la resistencia admisible del pilote (RR) es el resultado de la resistencia por fricción (Rs) más la resistencia por punta (Rp), los cuales se multiplican por factores de resistencia de manera individual. La resistencia admisible R_R, determinamos mediante la siguiente ecuación 1:

$$R_R = \phi R_n = \phi_{qp} R_p + \phi_{qs} R_s$$

Dónde:

$R_R =$ resistencia admisible del pilote (t)

Rp = resistencia de punta del pilote (t)

Rs = resistencia lateral del pilote (t)

ϕ_{qp} = factor de resistencia por fricción

ϕ_{qs} = factor de resistencia por punta

Rs = Resistencia por fricción del pilote

Rp= Resistencia de punta del pilote

Rn= Resistencia nominal del pilote

ϕ_{qp}= factor de resistencia por fricción

ϕ_{qs} = factor de resistencia por punta

5.6.4 Factores de reducción para pilotes hincados

La metodología aplica factores de reducción para afectar la resistencia nominal y dar margen de seguridad en el diseño.

La normativa AASHTO (Tabla 10.5.5.2.3-1) propone los siguientes valores, obtenidos de la ilustración 11.

5.7 Resultados obtenidos del primer pre diseño de pilotes.

5.7.1 Vértice 1 – Tramo La Cadena – Quevedo; diámetro 0.5.

DATOS			
HE	9.5	m	nivel freático
Pa	10	t/m2	presión atmosférica
D	0.5	m	Diámetro del pilote
Z	15	m	penetración del pilote
L	8	m	Longitud del pilote
Ap	0.20	m2	Área a la punta
As	12.57	m2	área perimetral del pilote
Ep	2.90E+07	t/m2	Módulo de elasticidad del material del pilote
ε	0.5	m/m	Deformación unitaria
CP	0.03		Coeficiente empírico de 0.03-0.06
Cs	0.05		constante empírico
Φ_{qp}	0.35		factor de resistencia por fricción
Φ_{qs}	0.35		factor de resistencia por punta

CAPA	COTA		TIPO DE SUELO	NSPT obtenido en campo	N corregido	Nspt corregido por eficacia del martillo N(60)	**Cohesión de correlaciones**	**Ángulo de Fricción de correlación**	**Ángulo de Fricción de correlación**	**Peso Específico correlación**	Esfuerzo vertical σ	corte no drenado (Su)	Su/Pa	α	Resistencia por fricción Capacidad a fricción(qs)	Resistencia nominal por fricción (Rs)	Nc	Resistencia de punta unitaria (Capacidad a punta)(qp)	RESISTENCIA NOMINAL A PUNTA (Rp)	CARGA EN PUNTA (Qp)	CARGA A FRICCIÓN (Qs)	CARGA ULTIMA (RR)	FS	Qultimo
(m)	Zo (m)	Zf (m)					CU(t/m2)	Grados	radianes	ton/m3	ton/m2	(tonf/m2)			(t/m2)	(t)		(t/m2)	(t)	(t)	(t)	(t)		(t)
1	495.36	494.4	ARCILLA	5	5	4	5.27	17.79	0.31	1.53	1.53	5.76	0.58	0.55	3.17	39.83	9	47.45	9.32	3.26	13.94	17.20	3	5.73
2	494.36	492.4	ARCILLA	6	6	5	5.41	18.55	0.32	1.54	3.08	6.44	0.64	0.55	3.54	44.52	9	48.68	9.56	3.35	15.58	18.93	3	6.31
3	493.36	490.4	ARCILLA	10	10	8	5.79	20.70	0.36	1.57	4.70	7.56	0.76	0.55	4.16	52.28	9	52.11	10.23	3.58	18.30	21.88	3	7.29
4	492.36	488.4	ARCILLA	8	8	6	5.62	19.76	0.34	1.55	6.21	7.86	0.79	0.55	4.32	54.29	9	50.61	9.94	3.48	19.00	22.48	3	7.49
5	491.36	486.4	ARCILLA	9	9	8	5.71	20.26	0.35	1.56	7.80	8.59	0.86	0.55	4.72	59.36	9	51.40	10.09	3.53	20.78	24.31	3	8.10
6	490.36	484.4	ARCILLA	10	10	9	5.79	20.70	0.36	1.57	9.39	9.34	0.93	0.55	5.14	64.54	9	52.11	10.23	3.58	22.59	26.17	3	8.72
7	489.36	482.4	ARCILLA	11	11	10	5.86	21.10	0.37	1.57	10.99	10.10	1.01	0.55	5.56	69.83	9	52.75	10.36	3.63	24.44	28.06	3	9.35
8	488.36	480.4	ARCILLA	10	10	10	5.79	20.70	0.36	1.57	12.52	10.52	1.05	0.55	5.79	72.72	9	52.11	10.23	3.58	25.45	29.03	3	9.68
9	487.36	478.4	ARCILLA	9	9	9	5.71	20.26	0.35	1.56	14.04	10.89	1.09	0.55	5.99	75.27	9	51.40	10.09	3.53	26.35	29.88	3	9.96
10	486.36	476.4	ARCILLA	13	13	12	5.99	21.80	0.38	1.58	15.79	12.30	1.23	0.55	6.77	85.04	9	53.88	10.58	3.70	29.76	33.47	3	11.16
11	485.36	474.4	ARCILLA	30	30	30	6.61	25.31	0.44	1.62	17.87	15.06	1.51	0.55	8.28	103.99	9	59.50	11.68	4.09	36.40	40.49	3	13.50
12	484.36	472.4	ARCILLA	30	30	30	6.61	25.31	0.44	1.62	19.50	15.83	1.58	0.54	8.58	107.77	9	59.50	11.68	4.09	37.72	41.81	3	13.94
13	483.36	470.4	ARCILLA	31	31	31	6.64	25.45	0.44	1.63	21.14	16.70	1.67	0.53	8.90	111.85	9	59.72	11.73	4.10	39.15	43.25	3	14.42
14	482.36	468.4	ARCILLA	30	30	30	6.61	25.31	0.44	1.62	22.74	17.37	1.74	0.53	9.14	114.87	9	59.50	11.68	4.09	40.21	44.29	3	14.76
15	481.36	466.4	ARCILLA	30	30	30	6.61	25.31	0.44	1.62	24.37	18.14	1.81	0.52	9.41	118.20	9	59.50	11.68	4.09	41.37	45.46	3	15.15

Ilustración 33: Cuadro de datos del diseño de pilotes para diámetro 0.5 m.

5.7.2 Vértice 10 tramo Trans Electric– La cadena; diámetro 0.5.

DATOS			
HE	9.5	m	nivel freático
Pa	10	t/m2	presión atmosférica
D	0.5	m	Diámetro del pilote
Z	15	m	penetración del pilote
L	8	m	Longitud del pilote
Ap	0.20	m2	Área a la punta
As	12.57	m2	área perimetral del pilote
Ep	2.90E+07	t/m2	Módulo de elasticidad del material del pilote
ε	0.5	m/m	Deformación unitaria
CP	0.03		Coeficiente empírico de 0.03-0.06
Cs	0.05		constante empírico
Φ_{qp}	0.35		factor de resistencia por fricción
Φ_{qs}	0.35		factor de resistencia por punta

CAPA	COTA		TIPO DE SUELO	NSPT obtenido en campo	N corregido	Nspt corregido por eficacia del martillo N(60)	**Cohesión de correlaciones** σ'	**Ángulo de Fricción de correlación**	**Ángulo de Fricción de correlación**	**Peso Específico correlación**	Esfuerzo vertical σ	corte no drenado (Su)	Su/Pa	α	Resistencia por fricción Capacidad a fricción(qs)	Resistencia nominal por fricción (Rs)	Nc	Resistencia de punta unitaria (Capacidad a punta)(qp)	RESISTENCIA NOMINAL A PUNTA (Rp)	CARGA EN PUNTA (Qp)	CARGA A FRICCIÓN (Qs)	CARGA ULTIMA (RR)	FS	Qultimo
(m)	Zo (m)	Zf (m)					CU(t/m2)	Grados	radianes	ton/m3	ton/m2	(tonf/m2)			(t/m2)	(t)		(t/m2)	(t)	(t)	(t)	(t)		(t)
1	530.34	529.34	ARCILLA	6	6	4	5.41	18.55	0.32	1.54	1.54	5.92	0.59	0.55	3.26	40.95	9	48.68	9.56	3.35	14.33	17.68	3	5.89
2	529.34	527.34	ARCILLA	10	10	5	5.79	20.70	0.36	1.57	3.13	6.97	0.70	0.55	3.84	48.19	9	52.11	10.23	3.58	16.87	20.45	3	6.82
3	528.34	525.34	ARCILLA	14	14	8	6.04	22.11	0.39	1.58	4.75	7.97	0.80	0.55	4.38	55.10	9	54.38	10.68	3.74	19.28	23.02	3	7.67
4	527.34	523.34	ARCILLA	10	10	6	5.79	20.70	0.36	1.57	6.26	8.16	0.82	0.55	4.49	56.37	9	52.11	10.23	3.58	19.73	23.31	3	7.77
5	526.34	521.34	ARCILLA	14	14	8	6.04	22.11	0.39	1.58	7.92	9.26	0.93	0.55	5.09	63.99	9	54.38	10.68	3.74	22.40	26.13	3	8.71
6	525.34	519.34	ARCILLA	9	9	9	5.71	20.26	0.35	1.56	9.36	9.16	0.92	0.55	5.04	63.34	9	51.40	10.09	3.53	22.17	25.70	3	8.57
7	524.34	517.34	ARCILLA	9	9	10	5.71	20.26	0.35	1.56	10.92	9.74	0.97	0.55	5.36	67.32	9	51.40	10.09	3.53	23.56	27.09	3	9.03
8	523.34	515.34	ARCILLA	11	11	10	5.86	21.10	0.37	1.57	12.56	10.71	1.07	0.55	5.89	74.01	9	52.75	10.36	3.63	25.90	29.53	3	9.84
9	522.34	513.34	ARCILLA	11	11	9	5.86	21.10	0.37	1.57	14.13	11.31	1.13	0.55	6.22	78.20	9	52.75	10.36	3.63	27.37	31.00	3	10.33
10	521.34	511.34	ARCILLA	10	10	12	5.79	20.70	0.36	1.57	15.65	11.70	1.17	0.55	6.44	80.89	9	52.11	10.23	3.58	28.31	31.89	3	10.63
11	520.34	509.34	ARCILLA	10	10	30	5.79	20.70	0.36	1.57	17.22	12.30	1.23	0.55	6.76	84.98	9	52.11	10.23	3.58	29.74	33.32	3	11.11
12	519.34	507.34	ARCILLA	12	12	30	5.93	21.46	0.37	1.58	18.90	13.36	1.34	0.55	7.35	92.32	9	53.34	10.47	3.67	32.31	35.98	3	11.99
13	518.34	505.34	ARCILLA	22	22	31	6.38	24.01	0.42	1.61	20.90	15.69	1.57	0.54	8.52	107.08	9	57.42	11.27	3.95	37.48	41.42	3	13.81
14	517.34	503.34	ARCILLA	28	28	30	6.56	25.02	0.44	1.62	22.69	17.15	1.72	0.53	9.06	113.91	9	59.04	11.59	4.06	39.87	43.93	3	14.64
15	516.34	501.34	ARCILLA	27	27	30	6.53	24.87	0.43	1.62	24.28	17.79	1.78	0.52	9.29	116.72	9	58.79	11.54	4.04	40.85	44.89	3	14.96

Ilustración 34: Cuadro de datos del diseño de pilotes para diámetro 0.5 m.

5.7.3 Subestación Quito; diámetro 0.5.

DATOS			
HE	9.5	m	nivel freático
Pa	10	t/m2	presión atmosférica
D	0.5	m	Diámetro del pilote
Z	15	m	penetración del pilote
L	8	m	Longitud del pilote
Ap	0.20	m2	Área a la punta
As	12.57	m2	área perimetral del pilote
Ep	2.90E+07	t/m2	Módulo de elasticidad del material del pilote
ε	0.5	m/m	Deformación unitaria
CP	0.03		Coeficiente empírico de 0.03-0.06
Cs	0.05		constante empírico
Φ_{qp}	0.35		factor de resistencia por fricción
Φ_{qs}	0.35		factor de resistencia por punta

CAPA	COTA		TIPO DE SUELO	NSPT obtenido en campo	N corregido	Nspt corregido por eficacia del martillo N(60)	**Cohesión de correlaciones**	**Ángulo de Fricción de correlación**	**Ángulo de Fricción de correlación**	**Peso Específico correlación**	Esfuerzo vertical σ	corte no drenado (Su)	Su/Pa	α	Resistencia por fricción Capacidad a fricción(qs)	Resistencia nominal por fricción (Rs)	Nc	Resistencia de punta unitaria (Capacidad a punta)(qp)	RESISTENCIA NOMINAL A PUNTA (Rp)	CARGA EN PUNTA (Qp)	CARGA A FRICCIÓN (Qs)	CARGA ULTIMA (RR)	FS	Qultimo
(m)	Zo (m)	Zf (m)					CU(t/m2)	Grados	radianes	ton/m3	ton/m2	(tonf/m2)			(t/m2)	(t)		(t/m2)	(t)	(t)	(t)	(t)		(t)
1	587.53	586.53	ARCILLA	4	4	3	5.11	16.85	0.29	1.52	1.52	5.56	0.56	0.55	3.06	38.46	9	45.95	9.02	3.16	13.46	16.62	3	5.54
2	586.53	584.53	ARCILLA	5	5	4	5.27	17.79	0.31	1.53	3.06	6.25	0.63	0.55	3.44	43.22	9	47.45	9.32	3.26	15.13	18.39	3	6.13
3	585.53	582.53	ARCILLA	3	3	2	4.89	15.64	0.27	1.50	4.50	6.15	0.62	0.55	3.38	42.51	9	44.02	8.64	3.02	14.88	17.90	3	5.97
4	584.53	580.53	ARCILLA	9	9	7	5.71	20.26	0.35	1.56	6.24	8.01	0.80	0.55	4.41	55.39	9	51.40	10.09	3.53	19.39	22.92	3	7.64
5	583.53	578.53	ARCILLA	4	4	3	5.11	16.85	0.29	1.52	7.58	7.40	0.74	0.55	4.07	51.15	9	45.95	9.02	3.16	17.90	21.06	3	7.02
6	582.53	576.53	ARCILLA	9	9	8	5.71	20.26	0.35	1.56	9.36	9.16	0.92	0.55	5.04	63.34	9	51.40	10.09	3.53	22.17	25.70	3	8.57
7	581.53	574.53	ARCILLA	8	8	8	5.62	19.76	0.34	1.55	10.87	9.53	0.95	0.55	5.24	65.86	9	50.61	9.94	3.48	23.05	26.53	3	8.84
8	580.53	572.53	ARCILLA	5	5	5	5.27	17.79	0.31	1.53	12.22	9.19	0.92	0.55	5.06	63.54	9	47.45	9.32	3.26	22.24	25.50	3	8.50
9	579.53	570.53	ARCILLA	7	7	7	5.52	19.20	0.34	1.55	13.91	10.37	1.04	0.55	5.70	71.66	9	49.71	9.76	3.42	25.08	28.50	3	9.50
10	578.53	568.53	ARCILLA	4	4	4	5.11	16.85	0.29	1.52	15.16	9.70	0.97	0.55	5.33	67.01	9	45.95	9.02	3.16	23.45	26.61	3	8.87
11	577.53	566.53	ARCILLA	6	6	6	5.41	18.55	0.32	1.54	16.91	11.08	1.11	0.55	6.10	76.61	9	48.68	9.56	3.35	26.81	30.16	3	10.05
12	576.53	564.53	ARCILLA	6	6	6	5.41	18.55	0.32	1.54	18.45	11.60	1.16	0.55	6.38	80.18	9	48.68	9.56	3.35	28.06	31.41	3	10.47
13	575.53	562.53	ARCILLA	16	16	16	6.14	22.67	0.40	1.59	20.68	14.78	1.48	0.55	8.13	102.15	9	55.27	10.85	3.80	35.75	39.55	3	13.18
14	574.53	560.53	ARCILLA	18	18	18	6.23	23.17	0.40	1.60	22.36	15.80	1.58	0.54	8.56	107.60	9	56.07	11.01	3.85	37.66	41.51	3	13.84
15	573.53	558.53	ARCILLA	23	23	23	6.41	24.20	0.42	1.61	24.15	17.27	1.73	0.53	9.11	114.42	9	57.71	11.33	3.97	40.05	44.01	3	14.67

Ilustración 35: Cuadro de datos del diseño de pilotes para diámetro 0.5 m.

5.7.4 Vèrtice 1 – Tramo La Cadena – Quevedo; diámetro 0.6.

DATOS			
HE	9.5	m	nivel freático
Pa	10	t/m2	presión atmosférica
D	0.6	m	Diámetro del pilote
Z	15	m	penetración del pilote
L	8	m	Longitud del pilote
Ap	0.28	m2	Área a la punta
As	15.08	m2	área perimetral del pilote
Ep	2.90E+07	t/m2	Módulo de elasticidad del material del pilote
ε	0.5	m/m	Deformación unitaria
CP	0.03		Coeficiente empírico de 0.03-0.06
Cs	0.05		constante empírico
Φ_{qp}	0.35		factor de resistencia por fricción
Φ_{qs}	0.35		factor de resistencia por punta

CAPA	COTA		TIPO DE SUELO	NSPT obtenido en campo	N corregido	Nspt corregido por eficacia del martillo N(60)	**Cohesión de correlaciones**	**Ángulo de Fricción de correlación**	**Ángulo de Fricción de correlación**	**Peso Específico correlación**	Esfuerzo vertical σ	corte no drenado (Su)	Su/Pa	α	Resistencia por fricción Capacidad a fricción(qs)	Resistencia nominal por fricción (Rs)	Nc	Resistencia de punta unitaria (Capacidad a punta)(qp)	RESISTENCIA NOMINAL A PUNTA (Rp)	CARGA EN PUNTA (Qp)	CARGA A FRICCIÓN (Qs)	CARGA ULTIMA (RR)	FS	Qultimo
(m)	Zo (m)	Zf (m)					CU(t/m2)	Grados	radianes	ton/m3	ton/m2	(tonf/m2)			(t/m2)	(t)		(t/m2)	(t)	(t)	(t)	(t)		(t)
1	495.36	494.4	ARCILLA	5	5	4	5.27	17.79	0.31	1.53	1.53	5.76	0.58	0.55	3.17	47.79	9	47.45	13.42	4.70	16.73	21.42	3	7.14
2	494.36	492.4	ARCILLA	6	6	5	5.41	18.55	0.32	1.54	3.08	6.44	0.64	0.55	3.54	53.42	9	48.68	13.76	4.82	18.70	23.51	3	7.84
3	493.36	490.4	ARCILLA	10	10	8	5.79	20.70	0.36	1.57	4.70	7.56	0.76	0.55	4.16	62.74	9	52.11	14.73	5.16	21.96	27.12	3	9.04
4	492.36	488.4	ARCILLA	8	8	6	5.62	19.76	0.34	1.55	6.21	7.86	0.79	0.55	4.32	65.15	9	50.61	14.31	5.01	22.80	27.81	3	9.27
5	491.36	486.4	ARCILLA	9	9	8	5.71	20.26	0.35	1.56	7.80	8.59	0.86	0.55	4.72	71.24	9	51.40	14.53	5.09	24.93	30.02	3	10.01
6	490.36	484.4	ARCILLA	10	10	9	5.79	20.70	0.36	1.57	9.39	9.34	0.93	0.55	5.14	77.45	9	52.11	14.73	5.16	27.11	32.27	3	10.76
7	489.36	482.4	ARCILLA	11	11	10	5.86	21.10	0.37	1.57	10.99	10.10	1.01	0.55	5.56	83.79	9	52.75	14.92	5.22	29.33	34.55	3	11.52
8	488.36	480.4	ARCILLA	10	10	10	5.79	20.70	0.36	1.57	12.52	10.52	1.05	0.55	5.79	87.26	9	52.11	14.73	5.16	30.54	35.70	3	11.90
9	487.36	478.4	ARCILLA	9	9	9	5.71	20.26	0.35	1.56	14.04	10.89	1.09	0.55	5.99	90.33	9	51.40	14.53	5.09	31.62	36.70	3	12.23
10	486.36	476.4	ARCILLA	13	13	12	5.99	21.80	0.38	1.58	15.79	12.30	1.23	0.55	6.77	102.04	9	53.88	15.23	5.33	35.72	41.05	3	13.68
11	485.36	474.4	ARCILLA	30	30	30	6.61	25.31	0.44	1.62	17.87	15.06	1.51	0.55	8.28	124.79	9	59.50	16.82	5.89	43.68	49.56	3	16.52
12	484.36	472.4	ARCILLA	30	30	30	6.61	25.31	0.44	1.62	19.50	15.83	1.58	0.54	8.58	129.32	9	59.50	16.82	5.89	45.26	51.15	3	17.05
13	483.36	470.4	ARCILLA	31	31	31	6.64	25.45	0.44	1.63	21.14	16.70	1.67	0.53	8.90	134.21	9	59.72	16.89	5.91	46.98	52.89	3	17.63
14	482.36	468.4	ARCILLA	30	30	30	6.61	25.31	0.44	1.62	22.74	17.37	1.74	0.53	9.14	137.85	9	59.50	16.82	5.89	48.25	54.14	3	18.05
15	481.36	466.4	ARCILLA	30	30	30	6.61	25.31	0.44	1.62	24.37	18.14	1.81	0.52	9.41	141.85	9	59.50	16.82	5.89	49.65	55.53	3	18.51

Ilustración 36: Cuadro de datos del diseño de pilotes para diámetro 0.6 m.

5.7.5 Vértice 10 tramo Tran Electric– La cadena; diámetro 0.6.

DATOS			
HE	9.5	m	nivel freático
Pa	10	t/m2	presión atmosférica
D	0.6	m	Diámetro del pilote
Z	15	m	penetración del pilote
L	8	m	Longitud del pilote
Ap	0.28	m2	Área a la punta
As	15.08	m2	área perimetral del pilote
Ep	2.90E+07	t/m2	Módulo de elasticidad del material del pilote
$\mathcal{E}$	0.5	m/m	Deformación unitaria
CP	0.03		Coeficiente empírico de 0.03-0.06
Cs	0.05		constante empírico
Φ_{qp}	0.35		factor de resistencia por fricción
Φ_{qs}	0.35		factor de resistencia por punta

CAPA	COTA		TIPO DE SUELO	NSPT obtenido en campo	N corregido	Nspt corregido por eficacia del martillo N(60)	**Cohesión de correlaciones** σ'	**Ángulo de Fricción de correlación**	**Ángulo de Fricción de correlación**	**Peso Específico correlación**	Esfuerzo vertical σ'	corte no drenado (Su)	Su/Pa	α	Resistencia por fricción Capacidad a fricción(qs)	Resistencia nominal por fricción (Rs)	Nc	Resistencia de punta unitaria (Capacidad a punta)(qp)	RESISTENCIA NOMINAL A PUNTA (Rp)	CARGA EN PUNTA (Qp)	CARGA A FRICCIÓN (Qs)	CARGA ULTIMA (RR)	FS	Qultimo
(m)	Zo (m)	Zf (m)					CU(t/m2)	Grados	radianes	ton/m3	ton/m2	(tonf/m2)			(t/m2)	(t)		(t/m2)	(t)	(t)	(t)	(t)		(t)
1	530.34	529.34	ARCILLA	6	6	4	5.41	18.55	0.32	1.54	1.54	5.92	0.59	0.55	3.26	49.14	9	48.68	13.76	4.82	17.20	22.02	3	7.34
2	529.34	527.34	ARCILLA	10	10	5	5.79	20.70	0.36	1.57	3.13	6.97	0.70	0.55	3.84	57.83	9	52.11	14.73	5.16	20.24	25.40	3	8.47
3	528.34	525.34	ARCILLA	14	14	8	6.04	22.11	0.39	1.58	4.75	7.97	0.80	0.55	4.38	66.12	9	54.38	15.37	5.38	23.14	28.52	3	9.51
4	527.34	523.34	ARCILLA	10	10	6	5.79	20.70	0.36	1.57	6.26	8.16	0.82	0.55	4.49	67.64	9	52.11	14.73	5.16	23.68	28.83	3	9.61
5	526.34	521.34	ARCILLA	14	14	8	6.04	22.11	0.39	1.58	7.92	9.26	0.93	0.55	5.09	76.79	9	54.38	15.37	5.38	26.88	32.26	3	10.75
6	525.34	519.34	ARCILLA	9	9	9	5.71	20.26	0.35	1.56	9.36	9.16	0.92	0.55	5.04	76.01	9	51.40	14.53	5.09	26.60	31.69	3	10.56
7	524.34	517.34	ARCILLA	9	9	10	5.71	20.26	0.35	1.56	10.92	9.74	0.97	0.55	5.36	80.78	9	51.40	14.53	5.09	28.27	33.36	3	11.12
8	523.34	515.34	ARCILLA	11	11	10	5.86	21.10	0.37	1.57	12.56	10.71	1.07	0.55	5.89	88.82	9	52.75	14.92	5.22	31.09	36.31	3	12.10
9	522.34	513.34	ARCILLA	11	11	9	5.86	21.10	0.37	1.57	14.13	11.31	1.13	0.55	6.22	93.84	9	52.75	14.92	5.22	32.84	38.07	3	12.69
10	521.34	511.34	ARCILLA	10	10	12	5.79	20.70	0.36	1.57	15.65	11.70	1.17	0.55	6.44	97.07	9	52.11	14.73	5.16	33.98	39.13	3	13.04
11	520.34	509.34	ARCILLA	10	10	30	5.79	20.70	0.36	1.57	17.22	12.30	1.23	0.55	6.76	101.98	9	52.11	14.73	5.16	35.69	40.85	3	13.62
12	519.34	507.34	ARCILLA	12	12	30	5.93	21.46	0.37	1.58	18.90	13.36	1.34	0.55	7.35	110.79	9	53.34	15.08	5.28	38.78	44.05	3	14.68
13	518.34	505.34	ARCILLA	22	22	31	6.38	24.01	0.42	1.61	20.90	15.69	1.57	0.54	8.52	128.50	9	57.42	16.23	5.68	44.97	50.66	3	16.89
14	517.34	503.34	ARCILLA	28	28	30	6.56	25.02	0.44	1.62	22.69	17.15	1.72	0.53	9.06	136.69	9	59.04	16.69	5.84	47.84	53.68	3	17.89
15	516.34	501.34	ARCILLA	27	27	30	6.53	24.87	0.43	1.62	24.28	17.79	1.78	0.52	9.29	140.06	9	58.79	16.62	5.82	49.02	54.84	3	18.28

Ilustración 37: Cuadro de datos del diseño de pilotes para diámetro 0.6 m.

5.7.5.1 Subestación Quito; diámetro 0.6.

DATOS			
HE	9.5	m	nivel freático
Pa	10	t/m2	presión atmosférica
D	0.6	m	Diámetro del pilote
Z	15	m	penetración del pilote
L	8	m	Longitud del pilote
Ap	0.28	m2	Área a la punta
As	15.08	m2	área perimetral del pilote
Ep	2.90E+07	t/m2	Módulo de elasticidad del material del pilote
ε	0.5	m/m	Deformación unitaria
CP	0.03		Coeficiente empírico de 0.03-0.06
Cs	0.05		constante empírico
Φ_{qp}	0.35		factor de resistencia por fricción
Φ_{qs}	0.35		factor de resistencia por punta

CAPA	COTA		TIPO DE SUELO	NSPT obtenido en campo	N corregido	Nspt corregido por eficacia del martillo N(60)	**Cohesión de correlaciones**	**Ángulo de Fricción de correlación**	**Ángulo de Fricción de correlación**	**Peso Específico correlación**	Esfuerzo vertical σ	corte no drenado (Su)	Su/Pa	α	Resistencia por fricción Capacidad a fricción(qs)	Resistencia nominal por fricción (Rs)	Nc	Resistencia de punta unitaria (Capacidad a punta)(qp)	RESISTENCIA NOMINAL A PUNTA (Rp)	CARGA EN PUNTA (Qp)	CARGA A FRICCIÓN (Qs)	CARGA ULTIMA (RR)	FS	Qultimo
(m)	Zo (m)	Zf (m)					CU(t/m2)	Grados	radianes	ton/m3	ton/m2	(tonf/m2)			(t/m2)	(t)		(t/m2)	(t)	(t)	(t)	(t)		(t)
1	587.53	586.53	ARCILLA	4	4	3	5.11	16.85	0.29	1.52	1.52	5.56	0.56	0.55	3.06	46.15	9	45.95	12.99	4.55	16.15	20.70	3	6.90
2	586.53	584.53	ARCILLA	5	5	4	5.27	17.79	0.31	1.53	3.06	6.25	0.63	0.55	3.44	51.86	9	47.45	13.42	4.70	18.15	22.85	3	7.62
3	585.53	582.53	ARCILLA	3	3	2	4.89	15.64	0.27	1.50	4.50	6.15	0.62	0.55	3.38	51.01	9	44.02	12.45	4.36	17.85	22.21	3	7.40
4	584.53	580.53	ARCILLA	9	9	7	5.71	20.26	0.35	1.56	6.24	8.01	0.80	0.55	4.41	66.46	9	51.40	14.53	5.09	23.26	28.35	3	9.45
5	583.53	578.53	ARCILLA	4	4	3	5.11	16.85	0.29	1.52	7.58	7.40	0.74	0.55	4.07	61.38	9	45.95	12.99	4.55	21.48	26.03	3	8.68
6	582.53	576.53	ARCILLA	9	9	8	5.71	20.26	0.35	1.56	9.36	9.16	0.92	0.55	5.04	76.01	9	51.40	14.53	5.09	26.60	31.69	3	10.56
7	581.53	574.53	ARCILLA	8	8	8	5.62	19.76	0.34	1.55	10.87	9.53	0.95	0.55	5.24	79.03	9	50.61	14.31	5.01	27.66	32.67	3	10.89
8	580.53	572.53	ARCILLA	5	5	5	5.27	17.79	0.31	1.53	12.22	9.19	0.92	0.55	5.06	76.25	9	47.45	13.42	4.70	26.69	31.38	3	10.46
9	579.53	570.53	ARCILLA	7	7	7	5.52	19.20	0.34	1.55	13.91	10.37	1.04	0.55	5.70	86.00	9	49.71	14.06	4.92	30.10	35.02	3	11.67
10	578.53	568.53	ARCILLA	4	4	4	5.11	16.85	0.29	1.52	15.16	9.70	0.97	0.55	5.33	80.42	9	45.95	12.99	4.55	28.15	32.69	3	10.90
11	577.53	566.53	ARCILLA	6	6	6	5.41	18.55	0.32	1.54	16.91	11.08	1.11	0.55	6.10	91.94	9	48.68	13.76	4.82	32.18	37.00	3	12.33
12	576.53	564.53	ARCILLA	6	6	6	5.41	18.55	0.32	1.54	18.45	11.60	1.16	0.55	6.38	96.22	9	48.68	13.76	4.82	33.68	38.49	3	12.83
13	575.53	562.53	ARCILLA	16	16	16	6.14	22.67	0.40	1.59	20.68	14.78	1.48	0.55	8.13	122.58	9	55.27	15.63	5.47	42.90	48.37	3	16.12
14	574.53	560.53	ARCILLA	18	18	18	6.23	23.17	0.40	1.60	22.36	15.80	1.58	0.54	8.56	129.12	9	56.07	15.85	5.55	45.19	50.74	3	16.91
15	573.53	558.53	ARCILLA	23	23	23	6.41	24.20	0.42	1.61	24.15	17.27	1.73	0.53	9.11	137.30	9	57.71	16.32	5.71	48.06	53.77	3	17.92

Ilustración 38: Cuadro de datos del diseño de pilotes para diámetro 0.6 m.

5.7.6 Vértice 1 – Tramo La Cadena – Quevedo; diámetro 0.7.

DATOS			
HE	9.5	m	nivel freático
Pa	10	t/m2	presión atmosférica
D	0.7	m	Diámetro del pilote
Z	15	m	penetración del pilote
L	8	m	Longitud del pilote
Ap	0.38	m2	Área a la punta
As	17.59	m2	área perimetral del pilote
Ep	2.90E+07	t/m2	Módulo de elasticidad del material del pilote
ε	0.5	m/m	Deformación unitaria
CP	0.03		Coeficiente empírico de 0.03-0.06
Cs	0.04		constante empírico
Φ_{qp}	0.35		factor de resistencia por fricción
Φ_{qs}	0.35		factor de resistencia por punta

CAPA	COTA		TIPO DE SUELO	NSPT obtenido en campo	N corregido	Nspt corregido por eficacia del martillo N(60)	**Cohesión de correlaciones**	**Ángulo de Fricción de correlación**	**Ángulo de Fricción de correlación**	**Peso Específico correlación**	Esfuerzo vertical σ	corte no drenado (Su)	Su/Pa	α	Resistencia por fricción Capacidad a fricción(qs)	Resistencia nominal por fricción (Rs)	Nc	Resistencia de punta unitaria (Capacidad a punta)(qp)	RESISTENCIA NOMINAL A PUNTA (Rp)	CARGA EN PUNTA (Qp)	CARGA A FRICCIÓN (Qs)	CARGA ULTIMA (RR)	FS	Qultimo
(m)	Zo (m)	Zf (m)					CU(t/m2)	Grados	radianes	ton/m3	ton/m2	(tonf/m2)			(t/m2)	(t)		(t/m2)	(t)	(t)	(t)	(t)		(t)
1	495.36	494.4	ARCILLA	5	5	4	5.27	17.79	0.31	1.53	1.53	5.76	0.58	0.55	3.17	55.76	9	47.45	18.26	6.39	19.52	25.91	3	8.64
2	494.36	492.4	ARCILLA	6	6	5	5.41	18.55	0.32	1.54	3.08	6.44	0.64	0.55	3.54	62.32	9	48.68	18.73	6.56	21.81	28.37	3	9.46
3	493.36	490.4	ARCILLA	10	10	8	5.79	20.70	0.36	1.57	4.70	7.56	0.76	0.55	4.16	73.20	9	52.11	20.06	7.02	25.62	32.64	3	10.88
4	492.36	488.4	ARCILLA	8	8	6	5.62	19.76	0.34	1.55	6.21	7.86	0.79	0.55	4.32	76.01	9	50.61	19.48	6.82	26.60	33.42	3	11.14
5	491.36	486.4	ARCILLA	9	9	8	5.71	20.26	0.35	1.56	7.80	8.59	0.86	0.55	4.72	83.11	9	51.40	19.78	6.92	29.09	36.01	3	12.00
6	490.36	484.4	ARCILLA	10	10	9	5.79	20.70	0.36	1.57	9.39	9.34	0.93	0.55	5.14	90.36	9	52.11	20.06	7.02	31.63	38.65	3	12.88
7	489.36	482.4	ARCILLA	11	11	10	5.86	21.10	0.37	1.57	10.99	10.10	1.01	0.55	5.56	97.76	9	52.75	20.30	7.11	34.21	41.32	3	13.77
8	488.36	480.4	ARCILLA	10	10	10	5.79	20.70	0.36	1.57	12.52	10.52	1.05	0.55	5.79	101.81	9	52.11	20.06	7.02	35.63	42.65	3	14.22
9	487.36	478.4	ARCILLA	9	9	9	5.71	20.26	0.35	1.56	14.04	10.89	1.09	0.55	5.99	105.38	9	51.40	19.78	6.92	36.88	43.81	3	14.60
10	486.36	476.4	ARCILLA	13	13	12	5.99	21.80	0.38	1.58	15.79	12.30	1.23	0.55	6.77	119.05	9	53.88	20.73	7.26	41.67	48.92	3	16.31
11	485.36	474.4	ARCILLA	30	30	30	6.61	25.31	0.44	1.62	17.87	15.06	1.51	0.55	8.28	145.59	9	59.50	22.90	8.01	50.96	58.97	3	19.66
12	484.36	472.4	ARCILLA	30	30	30	6.61	25.31	0.44	1.62	19.50	15.83	1.58	0.54	8.58	150.87	9	59.50	22.90	8.01	52.81	60.82	3	20.27
13	483.36	470.4	ARCILLA	31	31	31	6.64	25.45	0.44	1.63	21.14	16.70	1.67	0.53	8.90	156.58	9	59.72	22.98	8.04	54.80	62.85	3	20.95
14	482.36	468.4	ARCILLA	30	30	30	6.61	25.31	0.44	1.62	22.74	17.37	1.74	0.53	9.14	160.82	9	59.50	22.90	8.01	56.29	64.30	3	21.43
15	481.36	466.4	ARCILLA	30	30	30	6.61	25.31	0.44	1.62	24.37	18.14	1.81	0.52	9.41	165.49	9	59.50	22.90	8.01	57.92	65.93	3	21.98

Ilustración 39:Cuadro de datos del diseño de pilotes para diámetro 0.7 m.

5.7.7 Vértice 10 tramo Tran Electric– La cadena; diámetro 0.7.

DATOS			
HE	9.5	m	nivel freático
Pa	10	t/m2	presión atmosférica
D	0.7	m	Diámetro del pilote
Z	15	m	penetración del pilote
L	8	m	Longitud del pilote
Ap	0.38	m2	Área a la punta
As	17.59	m2	área perimetral del pilote
Ep	2.90E+07	t/m2	Módulo de elasticidad del material del pilote
ε	0.5	m/m	Deformación unitaria
CP	0.03		Coeficiente empírico de 0.03-0.06
Cs	0.04		constante empírico
Φ_{qp}	0.35		factor de resistencia por fricción
Φ_{qs}	0.35		factor de resistencia por punta

CAPA	COTA		TIPO DE SUELO	NSPT obtenido en campo	N corregido	Nspt corregido por eficacia del martillo N(60)	**Cohesión de correlaciones**	**Ángulo de Fricción de correlación**	**Ángulo de Fricción de correlación**	**Peso Específico correlación**	Esfuerzo vertical σ	corte no drenado (Su)	Su/Pa	α	Resistencia por fricción Capacidad a fricción(qs)	Resistencia nominal por fricción (Rs)	Nc	Resistencia de punta unitaria (Capacidad a punta)(qp)	RESISTENCIA NOMINAL A PUNTA (Rp)	CARGA EN PUNTA (Qp)	CARGA A FRICCIÓN (Qs)	CARGA ULTIMA (RR)	FS	Qultimo
(m)	Zo (m)	Zf (m)					CU(t/m2)	Grados	radianes	ton/m3	ton/m2	(tonf/m2)			(t/m2)	(t)		(t/m2)	(t)	(t)	(t)	(t)		(t)
1	530.34	529.34	ARCILLA	6	6	4	5.41	18.55	0.32	1.54	1.54	5.92	0.59	0.55	3.26	57.33	9	48.68	18.73	6.56	20.06	26.62	3	8.87
2	529.34	527.34	ARCILLA	10	10	5	5.79	20.70	0.36	1.57	3.13	6.97	0.70	0.55	3.84	67.47	9	52.11	20.06	7.02	23.62	30.63	3	10.21
3	528.34	525.34	ARCILLA	14	14	8	6.04	22.11	0.39	1.58	4.75	7.97	0.80	0.55	4.38	77.14	9	54.38	20.93	7.32	27.00	34.32	3	11.44
4	527.34	523.34	ARCILLA	10	10	6	5.79	20.70	0.36	1.57	6.26	8.16	0.82	0.55	4.49	78.92	9	52.11	20.06	7.02	27.62	34.64	3	11.55
5	526.34	521.34	ARCILLA	14	14	8	6.04	22.11	0.39	1.58	7.92	9.26	0.93	0.55	5.09	89.58	9	54.38	20.93	7.32	31.35	38.68	3	12.89
6	525.34	519.34	ARCILLA	9	9	9	5.71	20.26	0.35	1.56	9.36	9.16	0.92	0.55	5.04	88.68	9	51.40	19.78	6.92	31.04	37.96	3	12.65
7	524.34	517.34	ARCILLA	9	9	10	5.71	20.26	0.35	1.56	10.92	9.74	0.97	0.55	5.36	94.25	9	51.40	19.78	6.92	32.99	39.91	3	13.30
8	523.34	515.34	ARCILLA	11	11	10	5.86	21.10	0.37	1.57	12.56	10.71	1.07	0.55	5.89	103.62	9	52.75	20.30	7.11	36.27	43.37	3	14.46
9	522.34	513.34	ARCILLA	11	11	9	5.86	21.10	0.37	1.57	14.13	11.31	1.13	0.55	6.22	109.48	9	52.75	20.30	7.11	38.32	45.42	3	15.14
10	521.34	511.34	ARCILLA	10	10	12	5.79	20.70	0.36	1.57	15.65	11.70	1.17	0.55	6.44	113.25	9	52.11	20.06	7.02	39.64	46.66	3	15.55
11	520.34	509.34	ARCILLA	10	10	30	5.79	20.70	0.36	1.57	17.22	12.30	1.23	0.55	6.76	118.97	9	52.11	20.06	7.02	41.64	48.66	3	16.22
12	519.34	507.34	ARCILLA	12	12	30	5.93	21.46	0.37	1.58	18.90	13.36	1.34	0.55	7.35	129.25	9	53.34	20.53	7.18	45.24	52.42	3	17.47
13	518.34	505.34	ARCILLA	22	22	31	6.38	24.01	0.42	1.61	20.90	15.69	1.57	0.54	8.52	149.91	9	57.42	22.10	7.73	52.47	60.20	3	20.07
14	517.34	503.34	ARCILLA	28	28	30	6.56	25.02	0.44	1.62	22.69	17.15	1.72	0.53	9.06	159.47	9	59.04	22.72	7.95	55.82	63.77	3	21.26
15	516.34	501.34	ARCILLA	27	27	30	6.53	24.87	0.43	1.62	24.28	17.79	1.78	0.52	9.29	163.40	9	58.79	22.63	7.92	57.19	65.11	3	21.70

Ilustración 40: Cuadro de datos del diseño de pilotes para diámetro 0.7 m.

5.7.8 Subestación Quito; diámetro 0.7.

DATOS			
HE	9.5	m	nivel freático
Pa	10	t/m2	presión atmosférica
D	0.7	m	Diámetro del pilote
Z	15	m	penetración del pilote
L	8	m	Longitud del pilote
Ap	0.38	m2	Área a la punta
As	17.59	m2	área perimetral del pilote
Ep	2.90E+07	t/m2	Módulo de elasticidad del material del pilote
ε	0.5	m/m	Deformación unitaria
CP	0.03		Coeficiente empírico de 0.03-0.06
Cs	0.04		constante empírico
Φ_{qp}	0.35		factor de resistencia por fricción
Φ_{qs}	0.35		factor de resistencia por punta

CAPA	COTA		TIPO DE SUELO	NSPT obtenido en campo	N corregido	Nspt corregido por eficacia del martillo N(60)	**Cohesión de correlaciones**	**Ángulo de Fricción de correlación**	**Ángulo de Fricción de correlación**	**Peso Específico correlación**	Esfuerzo vertical σ	corte no drenado (Su)	Su/Pa	α	Resistencia por fricción Capacidad a fricción(qs)	Resistencia nominal por fricción (Rs)	Nc	Resistencia de punta unitaria (Capacidad a punta)(qp)	RESISTENCIA NOMINAL A PUNTA (Rp)	CARGA EN PUNTA (Qp)	CARGA A FRICCIÓN (Qs)	CARGA ULTIMA (RR)	FS	Qultimo
(m)	Zo (m)	Zf (m)					CU(t/m2)	Grados	radianes	ton/m3	ton/m2	(tonf/m2)			(t/m2)	(t)		(t/m2)	(t)	(t)	(t)	(t)		(t)
1	587.53	586.53	ARCILLA	4	4	3	5.11	16.85	0.29	1.52	1.52	5.56	0.56	0.55	3.06	53.85	9	45.95	17.68	6.19	18.85	25.04	3	8.35
2	586.53	584.53	ARCILLA	5	5	4	5.27	17.79	0.31	1.53	3.06	6.25	0.63	0.55	3.44	60.50	9	47.45	18.26	6.39	21.18	27.57	3	9.19
3	585.53	582.53	ARCILLA	3	3	2	4.89	15.64	0.27	1.50	4.50	6.15	0.62	0.55	3.38	59.52	9	44.02	16.94	5.93	20.83	26.76	3	8.92
4	584.53	580.53	ARCILLA	9	9	7	5.71	20.26	0.35	1.56	6.24	8.01	0.80	0.55	4.41	77.54	9	51.40	19.78	6.92	27.14	34.06	3	11.35
5	583.53	578.53	ARCILLA	4	4	3	5.11	16.85	0.29	1.52	7.58	7.40	0.74	0.55	4.07	71.61	9	45.95	17.68	6.19	25.06	31.25	3	10.42
6	582.53	576.53	ARCILLA	9	9	8	5.71	20.26	0.35	1.56	9.36	9.16	0.92	0.55	5.04	88.68	9	51.40	19.78	6.92	31.04	37.96	3	12.65
7	581.53	574.53	ARCILLA	8	8	8	5.62	19.76	0.34	1.55	10.87	9.53	0.95	0.55	5.24	92.21	9	50.61	19.48	6.82	32.27	39.09	3	13.03
8	580.53	572.53	ARCILLA	5	5	5	5.27	17.79	0.31	1.53	12.22	9.19	0.92	0.55	5.06	88.95	9	47.45	18.26	6.39	31.13	37.53	3	12.51
9	579.53	570.53	ARCILLA	7	7	7	5.52	19.20	0.34	1.55	13.91	10.37	1.04	0.55	5.70	100.33	9	49.71	19.13	6.70	35.12	41.81	3	13.94
10	578.53	568.53	ARCILLA	4	4	4	5.11	16.85	0.29	1.52	15.16	9.70	0.97	0.55	5.33	93.82	9	45.95	17.68	6.19	32.84	39.03	3	13.01
11	577.53	566.53	ARCILLA	6	6	6	5.41	18.55	0.32	1.54	16.91	11.08	1.11	0.55	6.10	107.26	9	48.68	18.73	6.56	37.54	44.10	3	14.70
12	576.53	564.53	ARCILLA	6	6	6	5.41	18.55	0.32	1.54	18.45	11.60	1.16	0.55	6.38	112.25	9	48.68	18.73	6.56	39.29	45.85	3	15.28
13	575.53	562.53	ARCILLA	16	16	16	6.14	22.67	0.40	1.59	20.68	14.78	1.48	0.55	8.13	143.01	9	55.27	21.27	7.45	50.05	57.50	3	19.17
14	574.53	560.53	ARCILLA	18	18	18	6.23	23.17	0.40	1.60	22.36	15.80	1.58	0.54	8.56	150.64	9	56.07	21.58	7.55	52.72	60.28	3	20.09
15	573.53	558.53	ARCILLA	23	23	23	6.41	24.20	0.42	1.61	24.15	17.27	1.73	0.53	9.11	160.18	9	57.71	22.21	7.77	56.06	63.84	3	21.28

Ilustración 41: Cuadro de datos del diseño de pilotes para diámetro 0.7

5.8 Calculo de asentamientos

5.8.1 Asentamiento de pilotes, St

En la sección 10.6.2.4.1. de la norma AASHTO LRFD 2014, recomienda tener en cuenta los asentamientos totales como los asentamientos diferenciales, considerando los efectos que dependen del tiempo.

Para el cálculo del asentamiento total en pilotes, es el resultado de la sumatoria del asentamiento elástico, asentamiento por consolidación y el asentamiento secundario, y se puede calcular con la ecuación 12:

$$S_t = S_e + S_c + S_S$$

Donde:

S_t = asentamiento total del pilote.

S_e = asentamiento elástico del pilote.

S_c = asentamiento por consolidación del pilote.

S_s = asentamiento secundario del pilote.

- Considerando que el material del pilote es elástico, para obtener S1 se usará la siguiente ecuación 13:

$$S_{e(1)} = \frac{(R_{WP} + \mathcal{E}R_{ws})L}{A_P E_P}$$

Rp= Carga en la punta del pilote bajo condición de carga de trabajo.

Rs= Carga por resistencia de fricción bajo condición de carga de trabajo.

Ap= Área de la sección transversal del pilote.

L= longitud del pilote.

Ep= 2.9E+07 t/m^2 Módulo de elasticidad del material del pilote.

ξ = 0.5 m/m (0.50 – 0.67) deformación unitaria. La magnitud de ξ dependerá de la naturaleza de la distribución de la fricción unitaria (superficial) a lo largo del fuste del pilote, dada en la ilustración 6.

- Para el cálculo de S2, se usará la ecuación 15 para arcillas:

$$S_{e(2)} = \frac{(Q_{wp} * c_p)}{D q_p}$$

D= Ancho o diámetro del pilote.

Rp= Carga en la punta del pilote bajo condición de carga de trabajo.

Cp= Coeficiente empírico de 0.03-0.06 (arcillas). Como observamos en la ilustración 17:

qp= resistencia última en la punta del pilote.

- Para el cálculo de S3, se usará la siguiente ecuación para arcillas:

$$S_{e(3)} = \frac{(Q_{ws} * c_s)}{Lq_p}$$

Rs= Carga por resistencia de fricción bajo condición de carga de trabajo.

qp= resistencia última en la punta del pilote.

L= Longitud empotrada del pilote.

D= Diámetro del pilote.

Cp= Coeficiente empírico de 0.03-0.06

Cs= Constante empírico. Se utilizará la ecuación 18:

$$C_s = \left(0.93 + 0.16\sqrt{\frac{L}{D}}\right)C_p$$

- Para el cálculo del asentamiento total elástico, se utilizará la ecuación 12:

$$St(e) = Se(1) + Se(2) + Se(3)$$

5.8.2 Vértice 1 – Tramo La Cadena – Quevedo.

Resistencia por fricción Capacidad a fricción(qs)	Resistencia nominal por fricción (Rs)	Resistencia de punta unitaria (Capacidad a punta)(qp)	RESISTENCIA NOMINAL A PUNTA (Rp)	CARGA EN PUNTA (Qp)	CARGA A FRICCIÓN (Qs)	CARGA ULTIMA (RR)	Qultimo	Asentamiento elástico (Se(1))	Asentamiento por la carga en la punta Se(2)	Aentamiento por la carga transmitida Se(3)	Asentamiento total (ST)
(t/m2)	(t)	(t/m2)	(t)	(t)	(t)	(t)	(t)	(m)	(m)	(m)	(m)
3.17	39.83	47.45	9.32	3.26	13.94	17.20	5.73	4.11E-05	1.18E-02	4.94E-03	0.016764
3.54	44.52	48.68	9.56	3.35	15.58	18.93	6.31	4.47E-05	1.18E-02	5.38E-03	0.017210
4.16	52.28	52.11	10.23	3.58	18.30	21.88	7.29	5.11E-05	1.18E-02	5.91E-03	0.017739
4.32	54.29	50.61	9.94	3.48	19.00	22.48	7.49	5.21E-05	1.18E-02	6.32E-03	0.018149
4.72	59.36	51.40	10.09	3.53	20.78	24.31	8.10	5.59E-05	1.18E-02	6.80E-03	0.018636
5.14	64.54	52.11	10.23	3.58	22.59	26.17	8.72	5.97E-05	1.18E-02	7.29E-03	0.019133
5.56	69.83	52.75	10.36	3.63	24.44	28.06	9.35	6.36E-05	1.18E-02	7.79E-03	0.019637
5.79	72.72	52.11	10.23	3.58	25.45	29.03	9.68	6.55E-05	1.18E-02	8.22E-03	0.020062
5.99	75.27	51.40	10.09	3.53	26.35	29.88	9.96	6.71E-05	1.18E-02	8.62E-03	0.020469
6.77	85.04	53.88	10.58	3.70	29.76	33.47	11.16	7.46E-05	1.18E-02	9.29E-03	0.021148
8.28	103.99	59.50	11.68	4.09	36.40	40.49	13.50	8.95E-05	1.18E-02	1.03E-02	0.022160
8.58	107.77	59.50	11.68	4.09	37.72	41.81	13.94	9.21E-05	1.18E-02	1.07E-02	0.022536
8.90	111.85	59.72	11.73	4.10	39.15	43.25	14.42	9.50E-05	1.18E-02	1.10E-02	0.022902
9.14	114.87	59.50	11.68	4.09	40.21	44.29	14.76	9.71E-05	1.18E-02	1.14E-02	0.023245
9.41	118.20	59.50	11.68	4.09	41.37	45.46	15.15	9.95E-05	1.18E-02	1.17E-02	0.023576

Ilustración 42: Cálculo de asentamientos para diámetro 0.5m

5.8.3 Vértice 10 tramo Tran Electric– La cadena

Resistencia por fricción Capacidad a fricción(qs)	Resistencia nominal por fricción (Rs)	Resistencia de punta unitaria (Capacidad a punta)(qp)	RESISTENCIA NOMINAL A PUNTA (Rp)	CARGA EN PUNTA (Qp)	CARGA A FRICCIÓN (Qs)	CARGA ULTIMA (RR)	Qultimo	Asentamiento elástico (Se(1))	Asentamiento por la carga en la punta Se(2)	Aentamiento por la carga transmitida Se(3)	Asentamiento total (ST)
(t/m2)	(t)	(t/m2)	(t)	(t)	(t)	(t)	(t)	(m)	(m)	(m)	(m)
3.26	40.95	48.68	9.56	3.35	14.33	17.68	5.89	4.22E-05	1.18E-02	4.95E-03	0.016776
3.84	48.19	52.11	10.23	3.58	16.87	20.45	6.82	4.82E-05	1.18E-02	5.44E-03	0.017274
4.38	55.10	54.38	10.68	3.74	19.28	23.02	7.67	5.37E-05	1.18E-02	5.97E-03	0.017800
4.49	56.37	52.11	10.23	3.58	19.73	23.31	7.77	5.40E-05	1.18E-02	6.37E-03	0.018203
5.09	63.99	54.38	10.68	3.74	22.40	26.13	8.71	6.00E-05	1.18E-02	6.93E-03	0.018769
5.04	63.34	51.40	10.09	3.53	22.17	25.70	8.57	5.87E-05	1.18E-02	7.25E-03	0.019094
5.36	67.32	51.40	10.09	3.53	23.56	27.09	9.03	6.15E-05	1.18E-02	7.71E-03	0.019553
5.89	74.01	52.75	10.36	3.63	25.90	29.53	9.84	6.65E-05	1.18E-02	8.26E-03	0.020108
6.22	78.20	52.75	10.36	3.63	27.37	31.00	10.33	6.95E-05	1.18E-02	8.73E-03	0.020578
6.44	80.89	52.11	10.23	3.58	28.31	31.89	10.63	7.12E-05	1.18E-02	9.14E-03	0.020991
6.76	84.98	52.11	10.23	3.58	29.74	33.32	11.11	7.41E-05	1.18E-02	9.60E-03	0.021456
7.35	92.32	53.34	10.47	3.67	32.31	35.98	11.99	7.96E-05	1.18E-02	1.02E-02	0.022051
8.52	107.08	57.42	11.27	3.95	37.48	41.42	13.81	9.11E-05	1.18E-02	1.10E-02	0.022852
9.06	113.91	59.04	11.59	4.06	39.87	43.93	14.64	9.63E-05	1.18E-02	1.14E-02	0.023237
9.29	116.72	58.79	11.54	4.04	40.85	44.89	14.96	9.82E-05	1.18E-02	1.17E-02	0.023567

Ilustración 43: Cálculo de asentamientos para diámetro 0.5m

5.8.4 Subestación Quito

Resistencia por fricción Capacidad a fricción(qs)	Resistencia nominal por fricción (Rs)	Resistencia de punta unitaria (Capacidad a punta)(qp)	RESISTENCIA NOMINAL A PUNTA (Rp)	CARGA EN PUNTA (Qp)	CARGA A FRICCIÓN (Qs)	CARGA ULTIMA (RR)	Qultimo	Asentamiento elástico (Se(1))	Asentamiento por la carga en la punta Se(2)	Aentamiento por la carga transmitidaSe(3)	Asentamiento total (ST)
(t/m2)	(t)	(t/m2)	(t)	(t)	(t)	(t)	(t)	(m)	(m)	(m)	(m)
3.06	38.46	45.95	9.02	3.16	13.46	16.62	5.54	3.97E-05	1.18E-02	4.93E-03	0.016748
3.44	43.22	47.45	9.32	3.26	15.13	18.39	6.13	4.34E-05	1.18E-02	5.36E-03	0.017186
3.38	42.51	44.02	8.64	3.02	14.88	17.90	5.97	4.20E-05	1.18E-02	5.69E-03	0.017509
4.41	55.39	51.40	10.09	3.53	19.39	22.92	7.64	5.31E-05	1.18E-02	6.34E-03	0.018178
4.07	51.15	45.95	9.02	3.16	17.90	21.06	7.02	4.86E-05	1.18E-02	6.55E-03	0.018383
5.04	63.34	51.40	10.09	3.53	22.17	25.70	8.57	5.87E-05	1.18E-02	7.25E-03	0.019094
5.24	65.86	50.61	9.94	3.48	23.05	26.53	8.84	6.02E-05	1.18E-02	7.66E-03	0.019503
5.06	63.54	47.45	9.32	3.26	22.24	25.50	8.50	5.77E-05	1.18E-02	7.88E-03	0.019722
5.70	71.66	49.71	9.76	3.42	25.08	28.50	9.50	6.41E-05	1.18E-02	8.49E-03	0.020332
5.33	67.01	45.95	9.02	3.16	23.45	26.61	8.87	5.98E-05	1.18E-02	8.59E-03	0.020427
6.10	76.61	48.68	9.56	3.35	26.81	30.16	10.05	6.72E-05	1.18E-02	9.27E-03	0.021114
6.38	80.18	48.68	9.56	3.35	28.06	31.41	10.47	6.98E-05	1.18E-02	9.70E-03	0.021548
8.13	102.15	55.27	10.85	3.80	35.75	39.55	13.18	8.70E-05	1.18E-02	1.09E-02	0.022748
8.56	107.60	56.07	11.01	3.85	37.66	41.51	13.84	9.11E-05	1.18E-02	1.13E-02	0.023171
9.11	114.42	57.71	11.33	3.97	40.05	44.01	14.67	9.63E-05	1.18E-02	1.17E-02	0.023549

Ilustración 44: Cálculo de asentamientos para diámetro 0.5m

5.8.5 Vértice 1 – Tramo La Cadena – Quevedo.

Resistencia por fricción Capacidad a fricción(qs)	Resistencia nominal por fricción (Rs)	Resistencia de punta unitaria (Capacidad a punta)(qp)	RESISTENCIA NOMINAL A PUNTA (Rp)	CARGA EN PUNTA (Qp)	CARGA A FRICCIÓN (Qs)	CARGA ULTIMA (RR)	Qultimo	Asentamiento elástico (Se(1))	Asentamiento por la carga en la punta Se(2)	Aentamiento por la carga transmitidaSe(3)	Asentamiento total (ST)
(t/m2)	(t)	(t/m2)	(t)	(t)	(t)	(t)	(t)	(m)	(m)	(m)	(m)
3.17	47.79	47.45	13.42	4.70	16.73	21.42	7.14	3.64E-05	1.41E-02	5.72E-03	0.0199
3.54	53.42	48.68	13.76	4.82	18.70	23.51	7.84	3.95E-05	1.41E-02	6.23E-03	0.0204
4.16	62.74	52.11	14.73	5.16	21.96	27.12	9.04	4.50E-05	1.41E-02	6.84E-03	0.0210
4.32	65.15	50.61	14.31	5.01	22.80	27.81	9.27	4.57E-05	1.41E-02	7.31E-03	0.0215
4.72	71.24	51.40	14.53	5.09	24.93	30.02	10.01	4.89E-05	1.41E-02	7.87E-03	0.0221
5.14	77.45	52.11	14.73	5.16	27.11	32.27	10.76	5.22E-05	1.41E-02	8.44E-03	0.0226
5.56	83.79	52.75	14.92	5.22	29.33	34.55	11.52	5.54E-05	1.41E-02	9.02E-03	0.0232
5.79	87.26	52.11	14.73	5.16	30.54	35.70	11.90	5.69E-05	1.41E-02	9.51E-03	0.0237
5.99	90.33	51.40	14.53	5.09	31.62	36.70	12.23	5.82E-05	1.41E-02	9.98E-03	0.0242
6.77	102.04	53.88	15.23	5.33	35.72	41.05	13.68	6.46E-05	1.41E-02	1.08E-02	0.0250
8.28	124.79	59.50	16.82	5.89	43.68	49.56	16.52	7.73E-05	1.41E-02	1.19E-02	0.0261
8.58	129.32	59.50	16.82	5.89	45.26	51.15	17.05	7.95E-05	1.41E-02	1.23E-02	0.0266
8.90	134.21	59.72	16.89	5.91	46.98	52.89	17.63	8.19E-05	1.41E-02	1.28E-02	0.0270
9.14	137.85	59.50	16.82	5.89	48.25	54.14	18.05	8.37E-05	1.41E-02	1.32E-02	0.0274
9.41	141.85	59.50	16.82	5.89	49.65	55.53	18.51	8.56E-05	1.41E-02	1.35E-02	0.0278

Ilustración 45: Cálculo de asentamientos para diámetro 0.6m

5.8.6 Vértice 10 tramo Trans Electric– La cadena

Resistencia por fricción Capacidad a fricción(qs)	Resistencia nominal por fricción (Rs)	Resistencia de punta unitaria (Capacidad a punta)(qp)	RESISTENCIA NOMINAL A PUNTA (Rp)	CARGA EN PUNTA (Qp)	CARGA A FRICCIÓN (Qs)	CARGA ULTIMA (RR)	Qultimo	Asentamiento elástico (Se(1))	Asentamiento por la carga en la punta Se(2)	Aentamiento por la carga transmitida Se(3)	Asentamiento total (ST)
(t/m2)	(t)	(t/m2)	(t)	(t)	(t)	(t)	(t)	(m)	(m)	(m)	(m)
3.26	49.14	48.68	13.76	4.82	17.20	22.02	7.34	3.74E-05	1.41E-02	5.73E-03	0.0199
3.84	57.83	52.11	14.73	5.16	20.24	25.40	8.47	4.26E-05	1.41E-02	6.30E-03	0.0205
4.38	66.12	54.38	15.37	5.38	23.14	28.52	9.51	4.73E-05	1.41E-02	6.90E-03	0.0211
4.49	67.64	52.11	14.73	5.16	23.68	28.83	9.61	4.74E-05	1.41E-02	7.37E-03	0.0216
5.09	76.79	54.38	15.37	5.38	26.88	32.26	10.75	5.25E-05	1.41E-02	8.02E-03	0.0222
5.04	76.01	51.40	14.53	5.09	26.60	31.69	10.56	5.13E-05	1.41E-02	8.40E-03	0.0226
5.36	80.78	51.40	14.53	5.09	28.27	33.36	11.12	5.36E-05	1.41E-02	8.92E-03	0.0231
5.89	88.82	52.75	14.92	5.22	31.09	36.31	12.10	5.79E-05	1.41E-02	9.56E-03	0.0238
6.22	93.84	52.75	14.92	5.22	32.84	38.07	12.69	6.03E-05	1.41E-02	1.01E-02	0.0243
6.44	97.07	52.11	14.73	5.16	33.98	39.13	13.04	6.17E-05	1.41E-02	1.06E-02	0.0248
6.76	101.98	52.11	14.73	5.16	35.69	40.85	13.62	6.41E-05	1.41E-02	1.11E-02	0.0253
7.35	110.79	53.34	15.08	5.28	38.78	44.05	14.68	6.88E-05	1.41E-02	1.18E-02	0.0260
8.52	128.50	57.42	16.23	5.68	44.97	50.66	16.89	7.85E-05	1.41E-02	1.27E-02	0.0269
9.06	136.69	59.04	16.69	5.84	47.84	53.68	17.89	8.30E-05	1.41E-02	1.31E-02	0.0274
9.29	140.06	58.79	16.62	5.82	49.02	54.84	18.28	8.45E-05	1.41E-02	1.35E-02	0.0277

Ilustración 46: Cálculo de asentamientos para diámetro 0.6 m.

5.8.7 Subestación Quito

Resistencia por fricción Capacidad a fricción(qs)	Resistencia nominal por fricción (Rs)	Resistencia de punta unitaria (Capacidad a punta)(qp)	RESISTENCIA NOMINAL A PUNTA (Rp)	CARGA EN PUNTA (Qp)	CARGA A FRICCIÓN (Qs)	CARGA ULTIMA (RR)	Qultimo	Asentamiento elástico (Se(1))	Asentamiento por la carga en la punta Se(2)	Aentamiento por la carga transmitida Se(3)	Asentamiento total (ST)
(t/m2)	(t)	(t/m2)	(t)	(t)	(t)	(t)	(t)	(m)	(m)	(m)	(m)
3.06	46.15	45.95	12.99	4.55	16.15	20.70	6.90	3.52E-05	1.41E-02	5.70E-03	0.0199
3.44	51.86	47.45	13.42	4.70	18.15	22.85	7.62	3.84E-05	1.41E-02	6.21E-03	0.0204
3.38	51.01	44.02	12.45	4.36	17.85	22.21	7.40	3.70E-05	1.41E-02	6.58E-03	0.0208
4.41	66.46	51.40	14.53	5.09	23.26	28.35	9.45	4.66E-05	1.41E-02	7.34E-03	0.0215
4.07	61.38	45.95	12.99	4.55	21.48	26.03	8.68	4.26E-05	1.41E-02	7.59E-03	0.0218
5.04	76.01	51.40	14.53	5.09	26.60	31.69	10.56	5.13E-05	1.41E-02	8.40E-03	0.0226
5.24	79.03	50.61	14.31	5.01	27.66	32.67	10.89	5.25E-05	1.41E-02	8.87E-03	0.0231
5.06	76.25	47.45	13.42	4.70	26.69	31.38	10.46	5.03E-05	1.41E-02	9.12E-03	0.0233
5.70	86.00	49.71	14.06	4.92	30.10	35.02	11.67	5.57E-05	1.41E-02	9.82E-03	0.0240
5.33	80.42	45.95	12.99	4.55	28.15	32.69	10.90	5.19E-05	1.41E-02	9.94E-03	0.0241
6.10	91.94	48.68	13.76	4.82	32.18	37.00	12.33	5.83E-05	1.41E-02	1.07E-02	0.0249
6.38	96.22	48.68	13.76	4.82	33.68	38.49	12.83	6.04E-05	1.41E-02	1.12E-02	0.0254
8.13	122.58	55.27	15.63	5.47	42.90	48.37	16.12	7.50E-05	1.41E-02	1.26E-02	0.0268
8.56	129.12	56.07	15.85	5.55	45.19	50.74	16.91	7.85E-05	1.41E-02	1.31E-02	0.0273
9.11	137.30	57.71	16.32	5.71	48.06	53.77	17.92	8.29E-05	1.41E-02	1.35E-02	0.0277

Ilustración 47: Cálculo de asentamientos para diámetro 0.6m

5.8.8 Vértice 1 – Tramo La Cadena – Quevedo. 0.7

Resistencia por fricción Capacidad a fricción(qs)	Resistencia nominal por fricción (Rs)	Resistencia de punta unitaria (Capacidad a punta)(qp)	RESISTENCIA NOMINAL A PUNTA (Rp)	CARGA EN PUNTA (Qp)	CARGA A FRICCIÓN (Qs)	CARGA ULTIMA (RR)	Qultimo	Asentamiento elástico (Se(1))	Asentamiento por la carga en la punta Se(2)	Aentamiento por la carga transmitida Se(3)	Asentamiento total (ST)
(t/m2)	(t)	(t/m2)	(t)	(t)	(t)	(t)	(t)	(m)	(m)	(m)	(m)
3.17	55.76	47.45	18.26	6.39	19.52	25.91	8.64	3.31E-05	1.65E-02	6.48E-03	0.0230
3.54	62.32	48.68	18.73	6.56	21.81	28.37	9.46	3.58E-05	1.65E-02	7.06E-03	0.0236
4.16	73.20	52.11	20.06	7.02	25.62	32.64	10.88	4.06E-05	1.65E-02	7.75E-03	0.0243
4.32	76.01	50.61	19.48	6.82	26.60	33.42	11.14	4.12E-05	1.65E-02	8.28E-03	0.0248
4.72	83.11	51.40	19.78	6.92	29.09	36.01	12.00	4.40E-05	1.65E-02	8.92E-03	0.0255
5.14	90.36	52.11	20.06	7.02	31.63	38.65	12.88	4.68E-05	1.65E-02	9.56E-03	0.0261
5.56	97.76	52.75	20.30	7.11	34.21	41.32	13.77	4.96E-05	1.65E-02	1.02E-02	0.0268
5.79	101.81	52.11	20.06	7.02	35.63	42.65	14.22	5.09E-05	1.65E-02	1.08E-02	0.0273
5.99	105.38	51.40	19.78	6.92	36.88	43.81	14.60	5.20E-05	1.65E-02	1.13E-02	0.0279
6.77	119.05	53.88	20.73	7.26	41.67	48.92	16.31	5.75E-05	1.65E-02	1.22E-02	0.0287
8.28	145.59	59.50	22.90	8.01	50.96	58.97	19.66	6.86E-05	1.65E-02	1.35E-02	0.0301
8.58	150.87	59.50	22.90	8.01	52.81	60.82	20.27	7.05E-05	1.65E-02	1.40E-02	0.0306
8.90	156.58	59.72	22.98	8.04	54.80	62.85	20.95	7.26E-05	1.65E-02	1.45E-02	0.0310
9.14	160.82	59.50	22.90	8.01	56.29	64.30	21.43	7.41E-05	1.65E-02	1.49E-02	0.0315
9.41	165.49	59.50	22.90	8.01	57.92	65.93	21.98	7.57E-05	1.65E-02	1.53E-02	0.0319

Ilustración 48: Cálculo de asentamientos para diámetro 0.7 m

5.8.9 Vértice 10 tramo Tran Electric– La cadena

Resistencia por fricción Capacidad a fricción(qs)	Resistencia nominal por fricción (Rs)	Resistencia de punta unitaria (Capacidad a punta)(qp)	RESISTENCIA NOMINAL A PUNTA (Rp)	CARGA EN PUNTA (Qp)	CARGA A FRICCIÓN (Qs)	CARGA ULTIMA (RR)	Qultimo	Asentamiento elástico (Se(1))	Asentamiento por la carga en la punta Se(2)	Aentamiento por la carga transmitida Se(3)	Asentamiento total (ST)
(t/m2)	(t)	(t/m2)	(t)	(t)	(t)	(t)	(t)	(m)	(m)	(m)	(m)
3.26	57.33	48.68	18.73	6.56	20.06	26.62	8.87	3.40E-05	1.65E-02	6.50E-03	0.0230
3.84	67.47	52.11	20.06	7.02	23.62	30.63	10.21	3.86E-05	1.65E-02	7.14E-03	0.0237
4.38	77.14	54.38	20.93	7.32	27.00	34.32	11.44	4.26E-05	1.65E-02	7.82E-03	0.0244
4.49	78.92	52.11	20.06	7.02	27.62	34.64	11.55	4.27E-05	1.65E-02	8.35E-03	0.0249
5.09	89.58	54.38	20.93	7.32	31.35	38.68	12.89	4.71E-05	1.65E-02	9.09E-03	0.0256
5.04	88.68	51.40	19.78	6.92	31.04	37.96	12.65	4.60E-05	1.65E-02	9.52E-03	0.0261
5.36	94.25	51.40	19.78	6.92	32.99	39.91	13.30	4.80E-05	1.65E-02	1.01E-02	0.0267
5.89	103.62	52.75	20.30	7.11	36.27	43.37	14.46	5.17E-05	1.65E-02	1.08E-02	0.0274
6.22	109.48	52.75	20.30	7.11	38.32	45.42	15.14	5.38E-05	1.65E-02	1.14E-02	0.0280
6.44	113.25	52.11	20.06	7.02	39.64	46.66	15.55	5.50E-05	1.65E-02	1.20E-02	0.0285
6.76	118.97	52.11	20.06	7.02	41.64	48.66	16.22	5.70E-05	1.65E-02	1.26E-02	0.0291
7.35	129.25	53.34	20.53	7.18	45.24	52.42	17.47	6.10E-05	1.65E-02	1.34E-02	0.0299
8.52	149.91	57.42	22.10	7.73	52.47	60.20	20.07	6.96E-05	1.65E-02	1.44E-02	0.0310
9.06	159.47	59.04	22.72	7.95	55.82	63.77	21.26	7.34E-05	1.65E-02	1.49E-02	0.0315
9.29	163.40	58.79	22.63	7.92	57.19	65.11	21.70	7.48E-05	1.65E-02	1.53E-02	0.0319

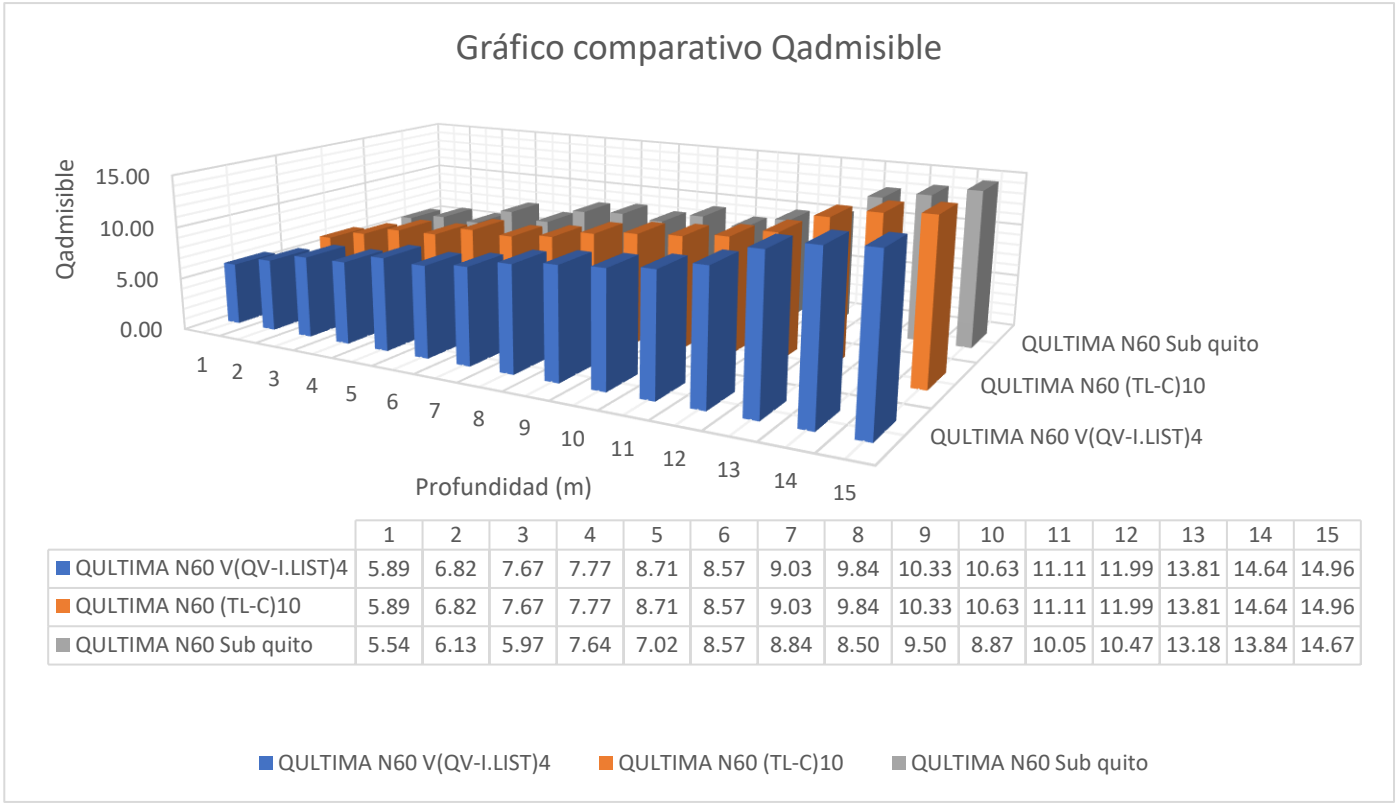
Ilustración 49: Cálculo de asentamientos para diámetro 0.7 m

5.8.10 Subestación Quito

Resistencia por fricción Capacidad a fricción(qs)	Resistencia nominal por fricción (Rs)	Resistencia de punta unitaria (Capacidad a punta)(qp)	RESISTENCIA NOMINAL A PUNTA (Rp)	CARGA EN PUNTA (Qp)	CARGA A FRICCIÓN (Qs)	CARGA ULTIMA (RR)	Qultimo	Asentamiento elástico (Se(1))	Asentamiento por la carga en la punta Se(2)	Aentamiento por la carga transmitidaSe(3)	Asentamiento total (ST)
(t/m2)	(t)	(t/m2)	(t)	(t)	(t)	(t)	(t)	(m)	(m)	(m)	(m)
3.06	53.85	45.95	17.68	6.19	18.85	25.04	8.35	3.20E-05	1.65E-02	6.46E-03	0.0230
3.44	60.50	47.45	18.26	6.39	21.18	27.57	9.19	3.48E-05	1.65E-02	7.03E-03	0.0236
3.38	59.52	44.02	16.94	5.93	20.83	26.76	8.92	3.35E-05	1.65E-02	7.46E-03	0.0240
4.41	77.54	51.40	19.78	6.92	27.14	34.06	11.35	4.20E-05	1.65E-02	8.32E-03	0.0249
4.07	71.61	45.95	17.68	6.19	25.06	31.25	10.42	3.83E-05	1.65E-02	8.60E-03	0.0251
5.04	88.68	51.40	19.78	6.92	31.04	37.96	12.65	4.60E-05	1.65E-02	9.52E-03	0.0261
5.24	92.21	50.61	19.48	6.82	32.27	39.09	13.03	4.70E-05	1.65E-02	1.00E-02	0.0266
5.06	88.95	47.45	18.26	6.39	31.13	37.53	12.51	4.50E-05	1.65E-02	1.03E-02	0.0269
5.70	100.33	49.71	19.13	6.70	35.12	41.81	13.94	4.97E-05	1.65E-02	1.11E-02	0.0277
5.33	93.82	45.95	17.68	6.19	32.84	39.03	13.01	4.63E-05	1.65E-02	1.13E-02	0.0278
6.10	107.26	48.68	18.73	6.56	37.54	44.10	14.70	5.19E-05	1.65E-02	1.22E-02	0.0287
6.38	112.25	48.68	18.73	6.56	39.29	45.85	15.28	5.37E-05	1.65E-02	1.27E-02	0.0293
8.13	143.01	55.27	21.27	7.45	50.05	57.50	19.17	6.65E-05	1.65E-02	1.43E-02	0.0308
8.56	150.64	56.07	21.58	7.55	52.72	60.28	20.09	6.95E-05	1.65E-02	1.48E-02	0.0314
9.11	160.18	57.71	22.21	7.77	56.06	63.84	21.28	7.33E-05	1.65E-02	1.53E-02	0.0319

Ilustración 50: Cálculo de asentamientos para diámetro 0.7m

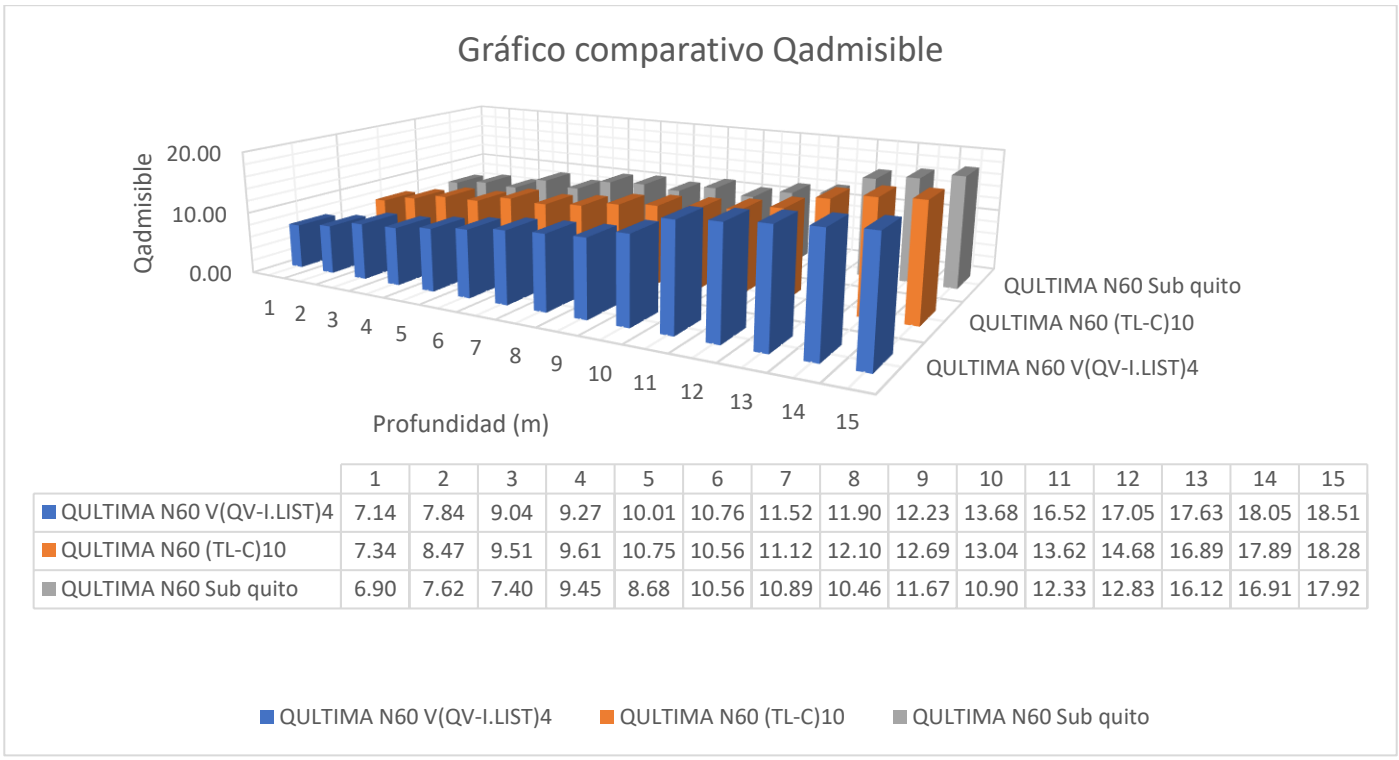
5.9 Evaluación comparativa de Q adm para diámetro 0.5 m.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
QULTIMA N60 V(QV-I.LIST)4	5.89	6.82	7.67	7.77	8.71	8.57	9.03	9.84	10.33	10.63	11.11	11.99	13.81	14.64	14.96
QULTIMA N60 (TL-C)10	5.89	6.82	7.67	7.77	8.71	8.57	9.03	9.84	10.33	10.63	11.11	11.99	13.81	14.64	14.96
QULTIMA N60 Sub quito	5.54	6.13	5.97	7.64	7.02	8.57	8.84	8.50	9.50	8.87	10.05	10.47	13.18	13.84	14.67

Tabla 16:Gráfico comparativo de Qadm vs profundidad (m) para diámetro 0.5m.

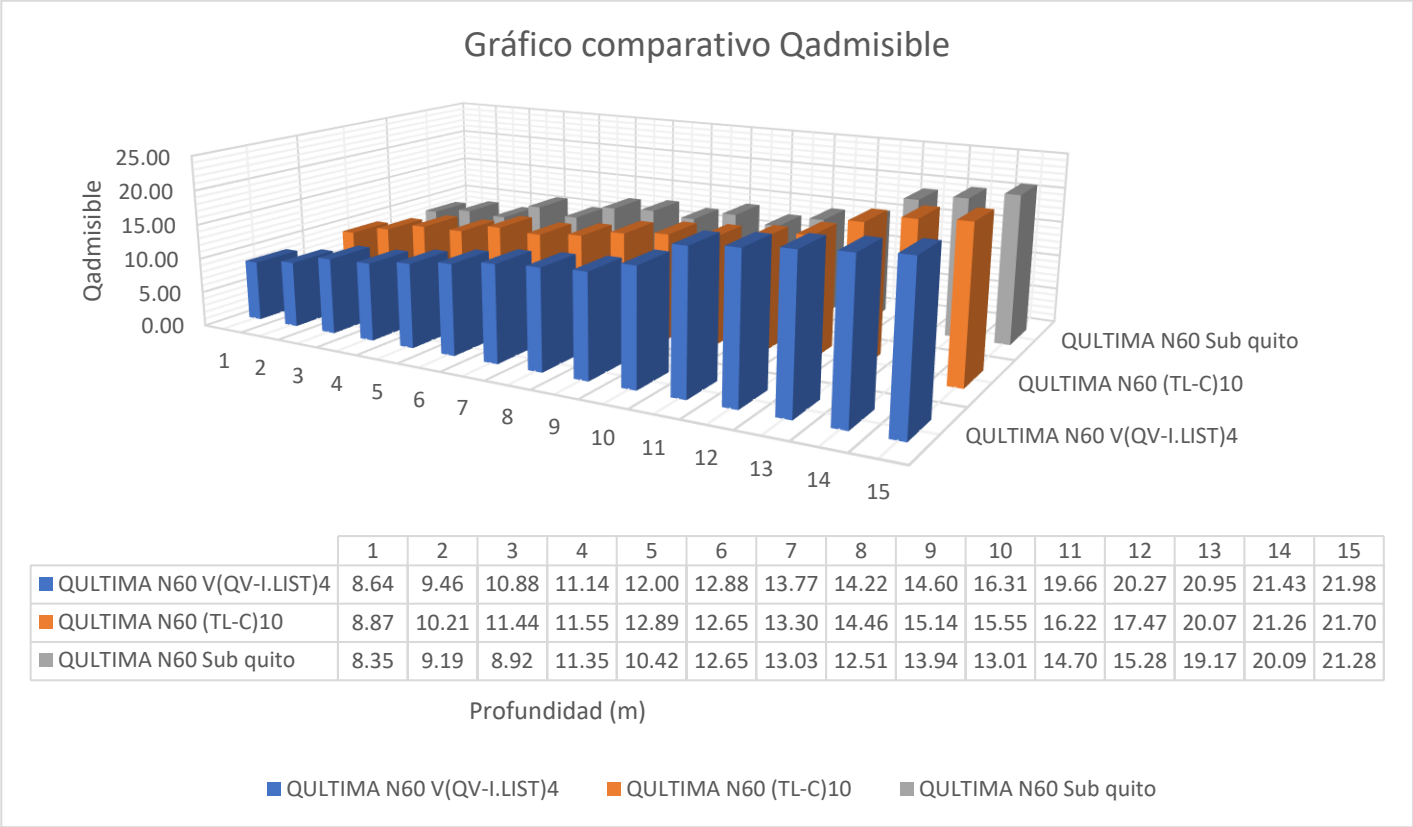
5.10 Evaluación comparativa de Q adm para diámetro 0.6 m.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
QULTIMA N60 V(QV-I.LIST)4	7.14	7.84	9.04	9.27	10.01	10.76	11.52	11.90	12.23	13.68	16.52	17.05	17.63	18.05	18.51
QULTIMA N60 (TL-C)10	7.34	8.47	9.51	9.61	10.75	10.56	11.12	12.10	12.69	13.04	13.62	14.68	16.89	17.89	18.28
QULTIMA N60 Sub quito	6.90	7.62	7.40	9.45	8.68	10.56	10.89	10.46	11.67	10.90	12.33	12.83	16.12	16.91	17.92

Tabla 17: Gráfico comparativo de Qadm vs profundidad (m) para diámetro 0.6m.

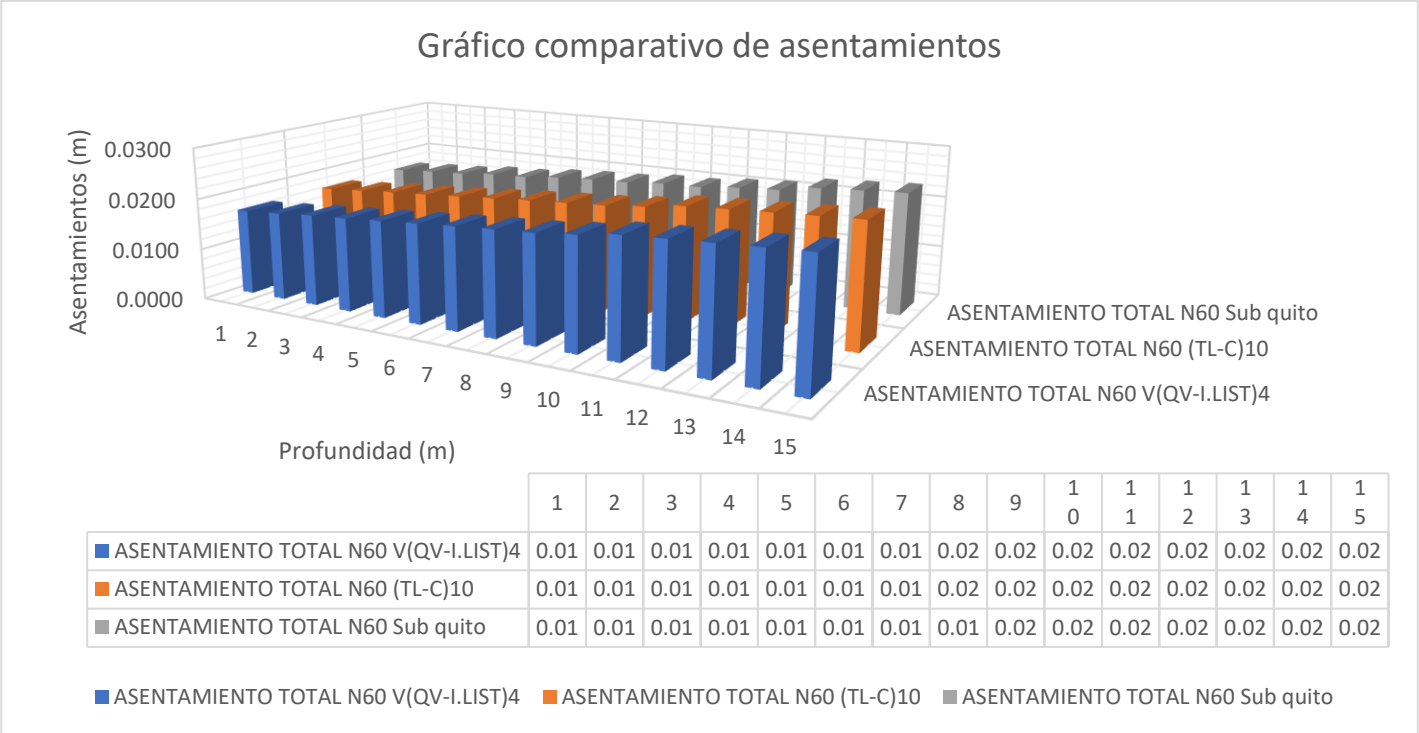
5.11 Evaluación comparativa de Q adm para diámetro 0.7 m.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
QULTIMA N60 V(QV-I.LIST)4	8.64	9.46	10.88	11.14	12.00	12.88	13.77	14.22	14.60	16.31	19.66	20.27	20.95	21.43	21.98
QULTIMA N60 (TL-C)10	8.87	10.21	11.44	11.55	12.89	12.65	13.30	14.46	15.14	15.55	16.22	17.47	20.07	21.26	21.70
QULTIMA N60 Sub quito	8.35	9.19	8.92	11.35	10.42	12.65	13.03	12.51	13.94	13.01	14.70	15.28	19.17	20.09	21.28

Tabla 18: Gráfico comparativo de Qadm vs profundidad (m) para diámetro 0.7m.

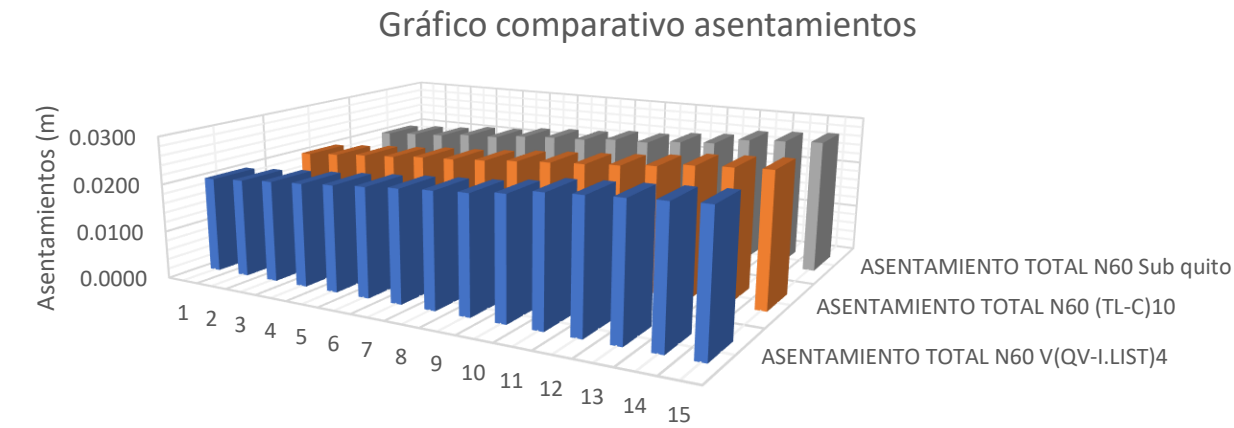
5.12 Evaluación comparativa de asentamientos para diámetro 0.5 m.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ASENTAMIENTO TOTAL N60 V(QV-I.LIST)4	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
ASENTAMIENTO TOTAL N60 (TL-C)10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
ASENTAMIENTO TOTAL N60 Sub quito	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02

Tabla 19: Gráfico comparativo de asentamientos vs profundidad (m) para diámetro 0.5m.

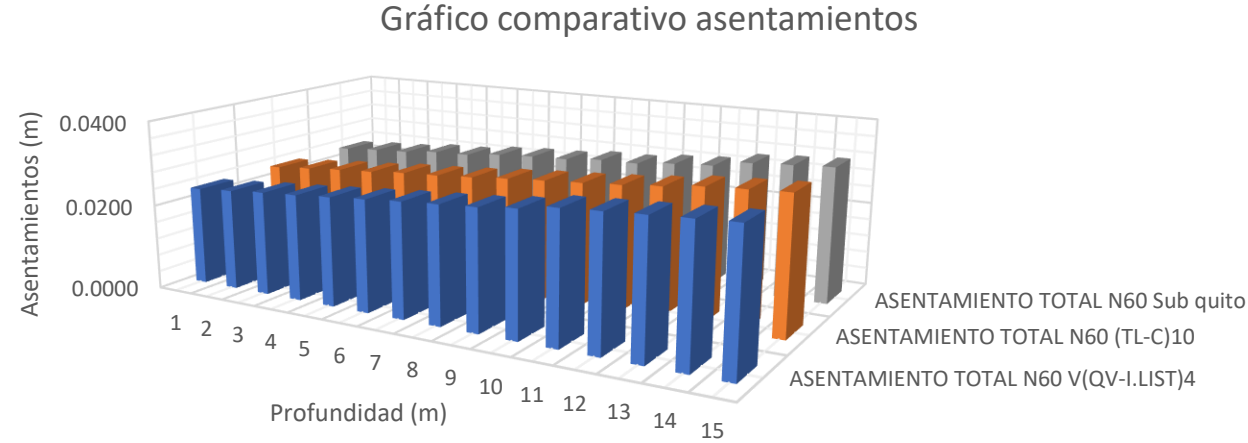
5.13 Evaluación comparativa de asentamientos para diámetro 0.6 m



Profundidad (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ASENTAMIENTO TOTAL N60 V(QV-I.LIST)4	0.0199	0.0204	0.0210	0.0215	0.0221	0.0226	0.0232	0.0237	0.0242	0.0250	0.0261	0.0266	0.0270	0.0274	0.0278
ASENTAMIENTO TOTAL N60 (TL-C)10	0.0199	0.0205	0.0211	0.0216	0.0222	0.0226	0.0230	0.0238	0.0248	0.0248	0.0258	0.0260	0.0269	0.0274	0.0277
ASENTAMIENTO TOTAL N60 Sub quito	0.0199	0.0204	0.0208	0.0215	0.0218	0.0226	0.0230	0.0238	0.0240	0.0241	0.0249	0.0254	0.0268	0.0278	0.0277

Tabla 20: Gráfico comparativo de asentamientos vs profundidad (m) para diámetro 0.6m.

5.34 Evaluación comparativa de asentamientos para diámetro 0.7 m.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ASENTAMIENTO TOTAL N60 V(QV-I.LIST)4	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
ASENTAMIENTO TOTAL N60 (TL-C)10	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
ASENTAMIENTO TOTAL N60 Sub quito	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03

Tabla 21: Gráfico comparativo de asentamientos vs profundidad (m) para diámetro 0.7m.

5.35 Gráfico comparativo de Qadmisible

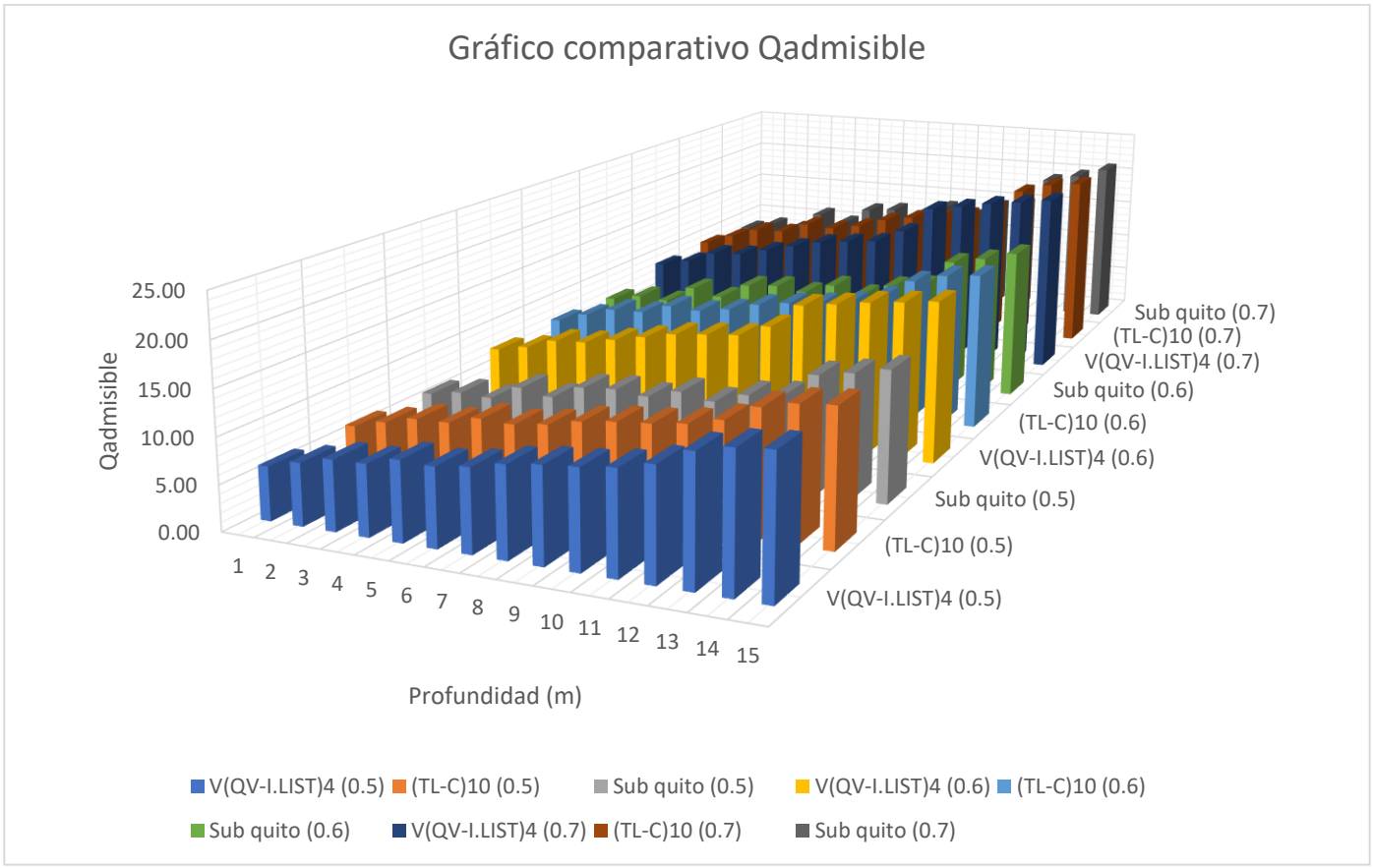


Tabla 22: Gráfico comparativo Qadm, diámetro 0.5, 0.6, 0.7.

5.36 Gráfico comparativo de asentamientos

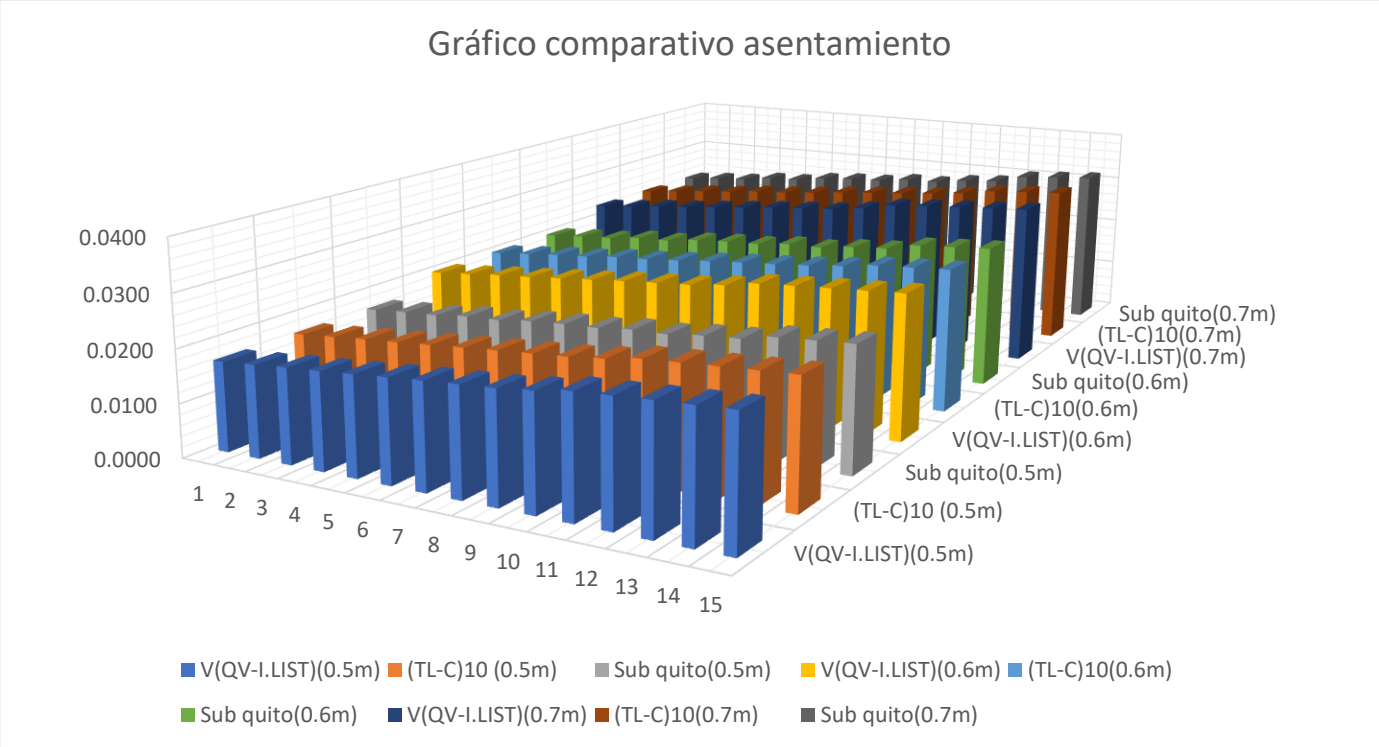


Tabla 23: Gráfico comparativo asentamientos diámetro 0.5, 0.6, 0.7.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

- El realizar una apropiada extracción y tallado de la muestra del suelo para realizar el ensayo de corte directo nos ayuda a obtener datos confiables de ángulo de fricción, cohesión y peso específico, los cuales nos ayudan a determinar la capacidad de carga y estudiar el comportamiento del mismo en estado natural.
- Con el afán de encontrar datos más cercanos a la realidad y evitar picos entre las correlaciones, se procedió a desarrollar correlaciones solo con suelos arcillosos, estos datos se obtuvieron después de una clasificación de 50 muestras en las cuales se presentaron 34 muestras que contenían arcillas, sin embargo, en la ejecución de correlaciones tan solo se tomaron en cuenta 28 muestras que presentan valores tolerables para la obtención de correlaciones con raíces de bajas a moderadas.
- Se determinó la correlación más efectiva para cohesión, ángulo de fricción y peso específico con NSPT con el fin de encontrar aquella que su raíz se acerque más a 1, siendo así la correlación más efectiva; se pudo observar en los gráficos de todas las correlaciones, que en todos los grupos de estratos de suelos tienen tendencia parecidas, pero no iguales y que las variaciones son mínimas, sin embargo, para el pre diseño de los pilotes se utilizó la correlación que contenga raíces que van de rangos moderados a positivos, con el fin de que los resultados se acerquen a la realidad y pensando siempre en una construcción de pilotes segura y conservadora.
- La presente tesis sirve como aporte a futuras investigaciones acerca de correlaciones que se puedan realizar a lo largo de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, ya que para nosotros poder encontrar una correlación adecuada realizamos una sectorización en la cual se pudo observar que los 50 datos obtenidos de ensayos de laboratorio al momento de dibujar las líneas de correlación presentaban datos demasiados dispersos y su raíz no se acercaba a los objetivos específicos planteados en la tesis, con las correlaciones de datos generales que incluyen a todos los datos de laboratorio obtenidos y encontrando que la mejor correlación que se acercaba más a la realidad y que cumplía con los parámetros bibliográficos.
- Los gráficos comparativos nos demuestran que la homogeneidad de suelos que se presentó en los ensayos de campo, también se lo consigue con la ejecución del diseño de

pilotes, al igual que con los ensayos obtenidos en el laboratorio, se puede observar que la capacidad admisible del suelo incrementa conforme se lo va penetrando por lo que se concluye que el programa se lo realizo de manera correcta y que cumple con los objetivos planteados en la investigación con anterioridad.

- En los gráficos comparativos de Qadm que realizamos, considerando los diferentes diámetros, podemos concluir que con diámetro de 0,7 metros; vamos a obtener un Qadm más aceptable para nuestro diseño de micropilotes, pero también tenemos que considerar que a mayor qadm los asentamientos también incrementan, y adicional a esto para tomar una decisión adecuada acerca de las dimensiones del diámetro, sería indispensable realizar un estudio económico y así poder complementar mucho más la investigación.
- En el último cuadro comparativo de asentamientos se puede observar que los asentamientos en todos los casos de estudios de las perforaciones realizadas van tomando asentamientos constantes por lo que se concluye que para elegir un diámetro adecuado dependerá siempre de la capacidad de carga ya que por su poca variación en asentamientos todo se basará en el cálculo inicial.
- Las capacidades de carga incrementan conforme se va penetrando el pilote al suelo al igual que la capacidad del mismo incrementa conforme la profundidad que tome, y como se puede observar las capacidades en los distintos sondeos varían, por lo que para tener una muestra considerable se deben realizar más ensayos en distintos sectores de tal manera de poder establecer un diámetro estándar para esa zona o sector de estudio ya que las perforaciones que están siendo usadas como ensayos presentan valores variables debido a que son de varios sectores.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que se realicen más estudios para poder encontrar una mejor correlación utilizando una sectorización que se asemeje más a la realidad debido a que con las correlaciones obtenidas mediante el uso de todas las muestras ensayadas se presentan muchas distorsiones y los datos de propiedades físicas y mecánicas del suelo varían demasiado e inclusive dan resultados fuera de los rangos establecidos bibliográficamente.
- Para futuras investigaciones es necesario que se realicen también sectorizaciones, debido a que se indica que como un universo muestral con un número superior de datos a 20, estos presentan resultados dispersos que a pesar de presentar valores tolerables en Q adm, en corte no drenado se dan valores ilógicos, por tal motivo es que se debe sectorizar las zonas en donde se vaya a ensayar y de esta manera tener modelos comparativos con otros sectores de la provincia.
- Esta tesis puede ser tomada como principal investigación para tesis futuras que busquen obtener correlaciones entre datos obtenidos en campo y ensayos de laboratorio, ya que para realizar una mejor caracterización de los suelos es necesario que se tomen más muestras y así poder tener un universo muestral mayor que nos permita datos acercados a la realidad de la provincia y a una correcta futura construcción de edificaciones en la ciudad.
- Para un análisis más exhaustivo y adecuado acerca de escoger el diámetro correcto del micro pilote, se debe realizar un estudio económico anteponiendo siempre la seguridad ya que las variaciones entre qadm realizado para varios diámetros en la investigación indican incrementos en su capacidad conforme se incrementa el diámetro y en la mayoría de casos estos serán escogidos por su funcionalidad estructural y económica.
- Se recomienda en base a la normativa LRFD en la sección 10.8.2.2, el cálculo de asentamientos por consolidación cuando se presentan suelos blandos, para futuras investigaciones es conveniente realizar todos los ensayos de laboratorio requeridos para la obtención los parámetros para el cálculo.

TRABAJOS CITADOS

AASHTO. (2004). *Diseño, evaluación y rehabilitación de puentes por factores de carga y resistencia (LRFD).*

AASTHO, A. A. (1993). Section 10 - Fundations. Estados Unidos.

ASTM , A. S. (2011). *Standard Practice for Classification of Soil for Engineering Purposes*. Estados Unidos.

ASTM, A. S. (1985). Standard Practice for Dry Prepation of Soil Samples for Particle Size Analysis and Determination of Soil Constants D 421-85. Estados Unidos.

ASTM, A. S. (2010). Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils D 4318-10. Estados Unidos.

Badillo, J., & Rodríguez, R. (2005). *Mecánica de suelos I: Fundamentos de la Mecánica de suelos* . Mexico: Limusa.

Badillo, J., Eulalio, & Rodríguez, R. (2000). *Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos Tomo I. Tercer edición* . México: Limusa Noriega Editores.

Bowles, J. E. (1988). *Foundation Analysis and Design.* McGraw-Hill Book Co.

Bowles, J. E. (1988). *Foundation Analysis and Design.* McGraw-Hill Book Co.

Braja M, D. (2001). *Principios de ingeniería en cimentaciones International.* México: Thomson Editores.

Bruce, D. A. (1989). *Amerixan Development in the use of small diameter Inserts as piles and in situ reinforcement.* London: DFI Int. Conf. on Piling and Deep Foundations.

Carcoma álvarez, J. E. (2004). ESTUDIO DE RESULTADOS ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT) PARA EL FACTOR DE CORRECCIÓN (CN) Y EL ÁNGULO DE FRICCIÓN (Ø) DEL SUELO USANDO DIFERENTES TIPOS DE CORRELACIONES. Bogotá, Colombia: UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA .

Carmona Álvarez, J. E. (2004). ESTUDIO DE RESULTADOS ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)PARA EL FACTOR DE CORRECCIÓN (CN) Y EL ÁNGULO DE FRICCIÓN (Ø)DEL SUELO USANDO DIFERENTES TIPOS DE CORRELACIONES. Bogotá, Colombia: UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA.

Cevallos Luna, A. S. (2012). Determinación del límite líquido y plástico de los suelos mediante el uso del penetrómetro cónico. Quito, Pichincha, Ecuador .

Das Braja, M. (2012). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones (7 ed.).* México D.F.: Cengage Learning.

Ellis , I. (1985). *"Piling for underpinning," Symposium on Buelding Appraisal, Maintenance and Preservation.* Bath: University of Bath.

Ellis, I. (1990). *"Mini Pile Underpinning" in the Symposium on Building Appraisal, Maintenance and Preservation.* Bath: University of Bath.

Franci, J. (2014). *Estudios Geotecnicos* . Obtenido de http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/estudios-geotecnicos-descriptores-y-correlaciones/

Gimenez, A., & Gustavo, F. (2003). Correlacion de los ensayos de penetración SPT, CPT y DPSH para distintos tipos de suelos de la republica Argentida. Cordoba, Argentina.

Hossne, A. J., Paredes, G., Carvajal, R., Santaella, E., & Malaver, J. (2011). *Cohesión aparente de un suelo Agrícola franco arenoso de sabana.* Obtenido de Acta Universitaria: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=416/41620956001

Kumar, R., Bhargava, K., & Choudhury, D. (18 de Octubre de 2016). *SPRINGER LINK.* Obtenido de https://link.springer.com/article/10.1007/s41403-016-0012-6

Lahura, E. (Enero de 2003). *Pontificia Universidad Católica del Perú.* Obtenido de http://files.pucp.edu.pe/departamento/economia/DDD218.pdf

Lambe, W., & Whitman, R. (1991). *Mecánica de suelos.* Méxio: Limusa.

Leoni, A. J. (17 de 200 de 1987). *Apuntes de resistencia al corte.* Obtenido de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/46118728/Apunte_de_Resistencia_al_Corte_1.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DAPUNTES_APUNTES_APUNTES_APUNTES_DE_DE_DE.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y

Leoni, A. J. (1987). *Propiedades Físicas de los suelos.* Obtenido de http://ingenieroleoni.com/wp-content/uploads/2015/09/Capitulo-1-Propiedades-F--sicas-de-los-suelos.pdf

Leoni, A. J. (2005). Parametrización de suelos. La Plata, Argentina: Universidad Nacional de la Plata.

Llique Mondragón, R. H. (2003). *Manual de Laboratorio de Mecánica de Suelos.* Editorial Universitaria UNC.

Mamani, C. (27 de diciembre de 2017). *Universidad Nacional del Altiplano.* Obtenido de http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6541

Martínez Ortega, R. M. (2009). El coeficiente de correlacion de los rangos de spearman caracterizacion. *Habanera de Ciencias Médica*.

Mascardi, C. A. (1982). *"Design Criteria and Performance of Micropiles," Symposium on Soil and Rock Improvement Techiques including Geotextiles, Reinforced Earth and Modern Piling Methods.* Bsnkgkok.

Muelas Rodríguez, A. (2012). *Manual de Mecánica de Suelos y Cimetaciones.* Obtenido de http://www.uned.es/dpto-icf/mecanica_del_suelo_y_cimentaciones/images/mecansueloycimentacionescap_1.pdf

Ocon Infante, J. (2013). Influencia del indice plástico en el contenido óptimo de humedad de suelos arcillosos. Cajamarca, Perú.

Rahman, M. (Junio de 2019). *Research gate.* Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/318110370_Foundation_Design_using_Standard_Penetration_Test_SPT_N-value

Restrepo , L., & González, J. (2007). De Pearson a Spearman. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 183-192.

Rodríguez Herrera, H. M. (2015). *Universidad Nacional Autónoma de México.* Obtenido de http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/8951/1/Tesis.pdf

Sánchez Romero, F. J. (2019). *Universitat Politècnica de València. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural - Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agronòmica i del Medi Natural Universitat Politècnica de València. Departamento de Ingeniería Rural y Agroal.* Obtenido de Límetes de atterberg: límite líquido y límite plástico gráfico de plasticidad de Casagrade: https://polimedia.upv.es/visor/?id=b272c280-700a-11e9-a7d3-3df1cef1857d

Sanz Llano, J. J. (1975). *Mecanica de Suelos.* Barcelona: editores técnicos asociados, s.a.

Shuan Lucas, L. (2004). *Laboratorio de Mecánica de Suelos.* Universidad Nacional de Ingeniería .

Sowers, G. (1972). *Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones.* Mexico : Limusa.

Suárez Díaz, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales.* Bucaramanga: Instituto de Investigaciones Sobre Erosión y Deslizamientos.

Terzaghi , k., & Peck R, B. (1973). *Mecánica de suelos en la Ingenieria Practica.* Madrid: El Ateneo.

Whitlow, R. (1994). *Fundamentos de Mecánica de Suelos.* México: Compañia Editorial Continental, S.A de C.V.

ANEXOS

- Vértice 10 Tramo Tran Electric – La cadena

Clasificación del suelo

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNIA
INFORME DE ENSAYO
REGISTRO DE PERFORACIÓN

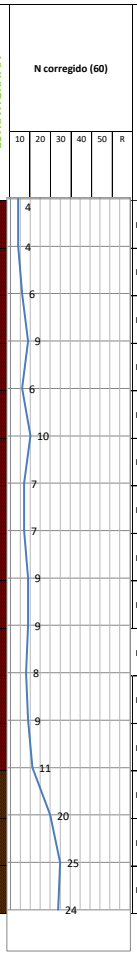
N° DE ORDEN : 7A

OBRA : CIERRE DEL ANILLO VIAL 69 KV SANTO DOMINGO
LOCALIZACIÓN : E 704282,03 N 9969594,57
SOLICITADO POR : CONSTRUCTORA VASCO CEDEÑO
FECHA : 3/9/2020

SECTOR: SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILA
PROFUNDIDAD: 15.00
PERFORACIÓN: 7A
COTA DEL NIVEL NATURAL DEL TERRENO (m) : 530.34
Nivel Freático:NN m 10
Revestimiento:Si

MARTILLO UTILIZADO : Tipo Safety — 475 J
DIAMETRO DE LA TUBERÍA : 75 mm — **Energóa del Martillo** 60 %

PROFUNDIDAD (metros)	COTA	CONTENIDO DE HUMEDAD	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	% QUE PASA EL TAMIZ N° 4	% QUE PASA EL TAMIZ N° 40	% QUE PASA EL TAMIZ N° 200	CLASIFICACIÓN SUCS	CLASIFICACIÓN NEC	TOMA MUESTRAS	15cm	30cm	45cm	NSPT	Nr	RECUPERACIÓN	N60	C (Kg/cm2)	Ø (grados)	γ (Kg/m3)	ESTRATIGRAFÍA	DESCRIPCIÓN MANUAL-VISUAL DEL SUELO
1.0	529.34	33	71	40	22	100	83	58	CL	E	cuchara partida	3	3	3	6	0.75	45.0	4	0.65	15	1418		De 1.00 a 1.50 .- arcilla de mediana plasticidad de color café oscuro poco húmeda.
2.0	528.34								CL	E	cuchara partida	5	5	5	10	0.75	45.0	6	0.66	16	1418		De 2.00 a 2.50 .- arcilla de mediana plasticidad de color café oscura con oxidaciones poco húmeda.
3.0	527.34								CL	E	cuchara partida	5	7	7	14	0.75	45.0	9	0.67	17	1418		De 3.00 a 3.50 .- arcilla de mediana plasticidad de color café oscura con oxidaciones poco húmeda.
4.0	526.34	51	66	18	48	81	75	63	CL	E	cuchara partida	7	5	5	10	0.75	45.0	6	0.68	18	1418		De 4.00 a 4.50 .- arcilla de mediana plasticidad de color café claro poco húmeda.
5.0	525.34								CL	E	cuchara partida	5	7	7	14	0.85	45.0	10	0.69	19	1418		De 5.00 a 5.50 .- arcilla de mediana plasticidad de color café claro poco húmeda.
6.0	524.34								CL	E	cuchara partida	3	4	5	9	0.85	45.0	7	0.70	20	1418		De 6.00 a 6.50 .- arcilla de mediana plasticidad de color gris húmeda.
7.0	523.34								CL	E	cuchara partida	4	4	5	9	0.95	45.0	7	0.71	21	1418		De 7.00 a 7.50 .- arcilla de mediana plasticidad de color gris húmeda.
8.0	522.34								CL	E	cuchara partida	4	5	6	11	0.95	45.0	9	0.72	22	1418		De 8.00 a 8.50 .- arcilla de mediana plasticidad de color café oscura húmeda.
9.0	521.34								CL	E	cuchara partida	5	5	6	11	0.95	46.0	9	0.73	23	1418		De 9.00 a 9.50 .- arcilla de mediana plasticidad de color café oscura húmeda.
10.0	520.34								CL	E	cuchara partida	5	5	5	10	0.95	47.0	8	0.74	24	1418		De 10.00 a 10.50 .- arcilla de mediana plasticidad de color café con gravilla saturada.
11.0	519.34								CL	E	cuchara partida	4	5	5	10	1.00	48.0	9	0.75	25	1418		De 11.00 a 11.50 .- arcilla de mediana plasticidad de color café con gravilla saturada.
12.0	518.34								CL	E	cuchara partida	6	6	6	12	1.00	49.0	11	0.76	26	1418		De 12.00 a 12.50 .- arcilla de mediana plasticidad de color café con oxidaciones, gravilla y grava saturada.
13.0	517.34								CL	D	cuchara partida	9	10	12	22	1.00	50.0	20	0.77	27	1418		De 13.00 a 13.50 .- arcilla de mediana plasticidad de color café con oxidaciones saturada.
14.0	516.34								CL	D	cuchara partida	12	13	15	28	1.00	51.0	25	0.78	28	1418		De 14.00 a 14.50 .- arcilla de mediana plasticidad de color café con oxidaciones saturada.
15.0	515.34	65	65	16	50	82	75	57	CL	D	cuchara partida	13	13	14	27	1.00	52.0	24	0.79	29	1418		De 15.00 a 15.50 .- arcilla de mediana plasticidad de color café con oxidaciones saturada.



SIMBOLOGÍA :

M Limo
C Arcilla
S Arena
L Baja plasticidad
H Alta plasticidad

ML
SM
MH
CL
CH
ROCA
GRAVA
ARENA
NIVEL FREÁTICO
NIVEL DE CIMENTACIÓN
LÍMITE PLÁSTICO
CONTENIDO DE HUMEDAD
LÍMITE LÍQUIDO

Ensayo de corte directo

TECNOLOGIA AL SERVICIO DE LA INGENIERIA EN LA COSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE MATERIALES DISEÑOS Y MECÁNICA DE SUELOS

INFORME Nro.			0008	L-8
PROYECTO	CIERRE DELANILLO (VASCO CEDEÑO)			
UBICACIÓN:	SANTO DOMINGO	FECHA		
SOLICITANTE:		23	MARZO	2020

MUESTRA NRO.	4	PERFORACIÓN NRO.	V10T-LC	ENSAYO DE CORTE DIRECTO	
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA(M)		4			
CLASIFICACION (SUCS)		CH			
ESTADO DE LA MUESTRA DE SUELO		INALTERADA	SI		
		REMOLDEADA			
VELOC. DE ENSAYO (MM/MIN)	0.5	TIEMPO DE CONSOLIDACIÓN (HRS)	ninguna	(NORMA ASTM - D3080-98)	

DATOS		ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03	
		INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
ALTURA (H)	CM	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55
DIÁMETRO (Ø)	CM	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
ÁREA	CM^2	28.27	28.27	28.27	28.27	28.27	28.27
VOLUMEN (V)	CM^3	72.10	72.10	72.10	72.10	72.10	72.10
PESO	GR	105.20		103.40		106.80	
DENSIDAD (Y)	GR/CM^3	1.46		1.43		1.48	
HUMEDAD (W)	%	37.90		37.99		34.96	
ESFUERZO NORMAL	KG/CM^2	0.50		1.00		2.00	

ESPECIMEN 01				ESPECIMEN 02				ESPECIMEN 03			
Deformac. Tangencial (mm)	Dial de Carga	Fuerza Cortante (Kg)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm^2)	Deformac. Tangencial (mm)	Dial de Carga	Fuerza Cortante (Kg)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm^2)	Deformac. Tangencial (mm)	Dial de Carga	Fuerza Cortante (Kg)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm^2)
0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000
0.10	23.20	3.253	0.115	0.10	77.10	11.141	0.394	0.10	105.40	15.230	0.539
0.20	51.70	7.393	0.261	0.20	90.50	13.077	0.463	0.20	140.50	20.344	0.720
0.30	73.30	10.592	0.375	0.30	110.40	15.953	0.564	0.30	166.30	24.080	0.852
0.40	90.00	13.005	0.460	0.40	133.60	19.305	0.683	0.40	184.20	26.709	0.945
0.60	112.00	16.184	0.572	0.60	155.00	22.444	0.794	0.60	211.00	30.637	1.084
0.80	124.00	17.918	0.634	0.80	176.00	25.520	0.903	0.80	231.00	33.541	1.186
1.00	142.00	20.562	0.727	1.00	188.70	27.362	0.968	1.00	254.00	36.906	1.305
1.25	158.60	22.965	0.812	1.25	200.50	29.073	1.028	1.25	278.00	40.421	1.430
1.50	166.90	24.167	0.855	1.50	212.60	30.870	1.092	1.50	307.50	44.711	1.581
1.75	175.50	25.448	0.900	1.75	223.40	32.438	1.147	1.75	330.20	48.044	1.699
2.00	180.00	26.100	0.923	2.00	235.00	34.122	1.207	2.00	341.00	49.616	1.755
2.25	171.70	24.862	0.879	2.25	230.00	33.396	1.181	2.25	337.00	49.034	1.734
2.50	165.30	23.935	0.847	2.50	220.00	31.944	1.130	2.50	330.00	48.015	1.698
2.75	157.00	22.734	0.804	2.75	214.00	31.073	1.099	2.75	325.00	47.288	1.672
3.00	150.00	21.720	0.768	3.00	210.00	30.492	1.078	3.00	321.00	46.706	1.652
3.50	143.90	20.837	0.737	3.50	205.00	29.725	1.051	3.50	316.00	45.978	1.626
4.00	139.10	20.142	0.712	4.00	200.00	29.000	1.026	4.00	310.00	45.105	1.595
4.50	133.30	19.262	0.681	4.50	198.00	28.710	1.015	4.50	303.00	44.056	1.558
5.00	127.70	18.453	0.653	5.00	194.50	28.203	0.997	5.00	298.00	43.329	1.532
5.50	120.00	17.340	0.613	5.50	188.60	27.347	0.967	5.50	293.00	42.602	1.507
6.00	114.50	16.545	0.585	6.00	180.30	26.144	0.925	6.00	290.00	42.166	1.491
6.50	108.90	15.736	0.557	6.50	173.30	25.129	0.889	6.50	287.00	41.730	1.476

ENSAYADO

Tec. Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA

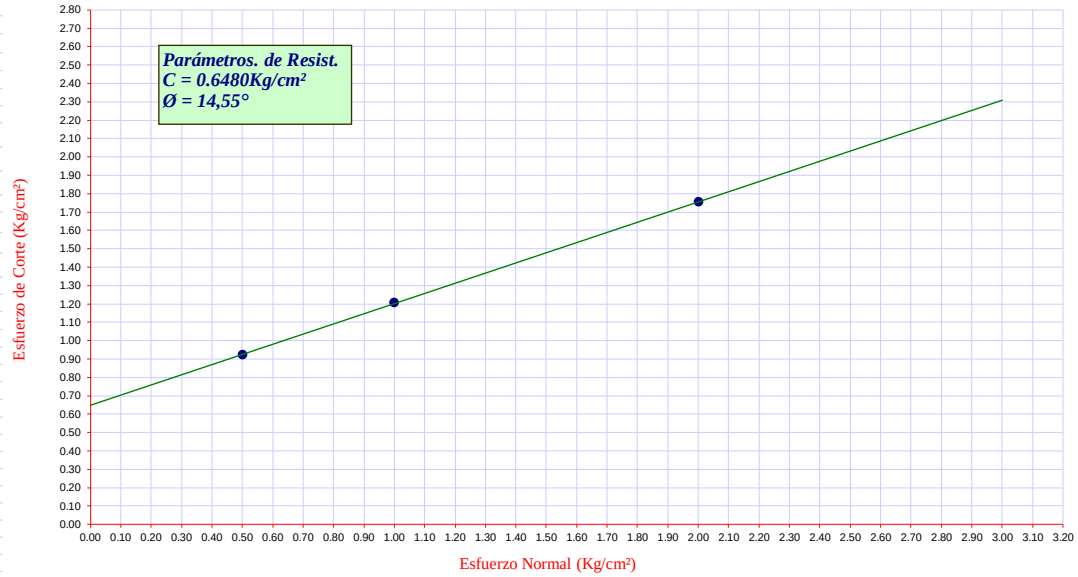
Ensayo de corte directo – Diagrama de falla

TECNOLOGIA AL SERVICIO DE LA INGENIERIA EN LA COSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE MATERIALES DISEÑOS Y MECÁNICA DE SUELOS

INFORME Nro.					0008	L-8
PROYECTO	CIERE DELANILLO (VASCO CEDEÑO)					
UBICACIÓN:	SANTO DOMINGO	O	O	FECHA		
SOLICITANTE:	O			23	MARZO	2020

MUESTRA NRO.	4	PERFORACIÓN NRO.	V1OT-LC	ENSAYO DE CORTE DIRECTO
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA(M)		4		
CLASIFICACION (SUCS)		CH		
ESTADO DE LA MUESTRA DE SUELO		INALTERADA	SI	
		REMOLDEADA		
VELOC. DE ENSAYO (MM/MIN)	0.5	TIEMPO DE CONSOLIDACIÓN (HRS)	NINGUNA	(NORMA ASTM - D3080-98)

ESFUERZO DE CORTE vs ESFUERZO NORMAL (CRITERIO DE LA FALLA DE MOHR - COULOMB)



ENSAYADO

Tec. Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA

- Sub Estación Quito

Clasificación del suelo

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNIA
INFORME DE ENSAYO
REGISTRO DE PERFORACIÓN

N° DE ORDEN : 42

OBRA : CIERRE DEL ANILLO VIAL 69 KV SANTO DOMINGO
LOCALIZACIÓN : E 706911,83 N 9972295,2
SOLICITADO POR : CONSTRUCTORA VASCO CEDEÑO
FECHA : 3/20/2020

SECTOR: SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILA
PROFUNDIDAD: 15.00
PERFORACIÓN: 42
COTA DEL NIVEL NATURAL DEL TERRENO (m) : 587.53
Nivel Freático:NN m 13
Revestimiento:Si

MARTILLO UTILIZADO : Tipo Safety
DIAMETRO DE LA TUBERÍA : 75 mm

475 J
Energóa del Martillo 60 %

PROFUNDIDAD (metros)	COTA	CONTENIDO DE LA LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLÁSTICO	INDICE DE PLASTICIDAD	% QUE PASA EL TAMIZ	% QUE PASA EL TAMIZ	% QUE PASA EL TAMIZ	CLASIFICACIÓN	CLASIFICACIÓN	TOMA MUESTRA	15cm	30cm	45cm	NSPT	Nr	RECUPERACIÓN	N60	C (kg/cm2)	Ø (grados)	γ (Kg/m3)	ESTRATIGRAFÍA	N corregido (60)	DESCRIPCIÓN MANUAL-VISUAL DEL SUELO
1.0	586.53	25	63	33	25	100	79	64	CH	E	cuchara partida	3	2	2	4	0.75	45.0	2	0.27	28	1418		2	De 1.00 a 1.50 .- arena limosa de color cafer claro con humedad media y plasticidad media
2.0	585.53								CH	E	cuchara partida	3	2	3	5	0.75	45.0	3	0.27	28	1418		3	De 2.00 a 2.50 .- arena limosa de color cafer claro con humedad media y plasticidad media
3.0	584.53								CH	E	cuchara partida	2	1	2	3	0.75	45.0	2	0.27	28	1418		2	De 3.00 a 3.50 .- arcilla arenosa de color café claro de humedad media y plasticidad alta
4.0	583.53								CH	E	cuchara partida	4	5	4	9	0.75	45.0	6	0.27	28	1418		6	De 4.00 a 4.50 .- arcilla arenosa de color café amarillenta de humedad media y plasticidad alta
5.0	582.53								CH	E	cuchara partida	2	2	2	4	0.85	46.0	3	0.27	28	1418		3	De 5.00 a 5.50 .- arcilla arenosa de color café claro de humedad media y plasticidad alta
6.0	581.53								CH	E	cuchara partida	4	5	4	9	0.85	47.0	7	0.27	28	1418		7	De 6.00 a 6.50 .- arcilla de color café claro de humedad media y plasticidad media
7.0	580.53								CH	E	cuchara partida	4	4	4	8	0.95	48.0	6	0.27	28	1418		6	De 7.00 a 7.50 .- arcilla de color café claro de humedad media y plasticidad media
8.0	579.53								CH	E	cuchara partida	3	2	3	5	0.95	49.0	4	0.27	28	1418		4	De 8.00 a 8.50 .- arcilla, de color café claro de humedad media y plasticidad media
9.0	578.53	45	75	29	45	100	86	66	CH	E	cuchara partida	3	4	3	7	0.95	50.0	6	0.27	28	1418		6	De 9.00 a 9.50 .- arcilla de color café claro de humedad media y plasticidad alta
10.0	577.53								CH	E	cuchara partida	2	2	2	4	0.95	51.0	3	0.27	28	1418		3	De 10.00 a 10.50 .- arcilla de color café blanquecina de humedad media y plasticidad alta
11.0	576.53								CH	E	cuchara partida	3	3	3	6	1.00	52.0	5	0.27	28	1418		5	De 11.00 a 11.50 .- arcilla, de color café claro de humedad media y plasticidad alta
12.0	575.53								CH	E	cuchara partida	3	3	3	6	1.00	53.0	5	0.27	28	1418		5	De 12.00 a 12.50 .- arcilla, de color café claro de humedad media y plasticidad alta
13.0	574.53								CH	E	cuchara partida	7	7	9	16	1.00	54.0	14	0.27	28	1418		14	De 13.00 a 13.50 .- arcilla, de color café claro de humedad media y plasticidad alta
14.0	573.53								CH	D	cuchara partida	8	8	10	18	1.00	55.0	16	0.27	28	1418		16	De 14.00 a 14.50 .- grava de color rosada de humedad alta y plasticidad baja
15.0	572.53	64	66	17	49	77	61	53	CH	D	cuchara partida	8	10	13	23	1.00	56.0	21	0.27	28	1418		21	De 15.00 a 15.50 .- grava de color rosada de humedad alta y plasticidad baja

SIMBOLOGÍA :

M Limo
C Arcilla
S Arena
L Baja plasticidad
H Alta plasticidad

ML, SM, MH
CL, CH
ROCA, GRAVA, ARENA
NIVEL FREÁTICO
NIVEL DE CIMENTACIÓN
LÍMITE PLÁSTICO
CONTENIDO DE HUMEDAD
LÍMITE LÍQUIDO

Ensayo de corte directo

TECNOLOGIA AL SERVICIO DE LA INGENIERIA EN LA COSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE MATERIALES DISEÑOS Y MECÁNICA DE SUELOS

INFORME Nro.			0046	L-46
PROYECTO	CIERRE DELANTIL (VASCO CEDEÑO)			
UBICACIÓN:	SANTO DOMINGO	FECHA		
SOLICITANTE:		26	MARZO	2020

MUESTRA NRO.	5	PERFORACIÓN NRO.	46	ENSAYO DE CORTE DIRECTO
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA(M)		5		
CLASIFICACION (SUCS)		M H		
ESTADO DE LA MUESTRA DE SUELO		INALTERADA	SI	
		REMOLDEADA		(NORMA ASTM - D3080-98)
VELOC. DE ENSAYO (MM/MIN)	0.5	TIEMPO DE CONSOLIDACIÓN (HRS)	ninguna	

DATOS		ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03	
		INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
ALTURA (H)	CM	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55
DIÁMETRO (Ø)	CM	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
ÁREA	CM^2	28.27	28.27	28.27	28.27	28.27	28.27
VOLUMEN (V)	CM^3	72.10	72.10	72.10	72.10	72.10	72.10
PESO	GR	115.80		113.20		115.00	
DENSIDAD (Y)	GR/CM^3	1.61		1.57		1.60	
HUMEDAD (W)	%	41.76		43.68		41.43	
ESFUERZO NORMAL	KG/CM^2	0.50		1.00		2.00	

ESPECIMEN 01				ESPECIMEN 02				ESPECIMEN 03			
Deformac. Tangencial (mm)	Dial de Carga	Fuerza Cortante (Kg)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm^2)	Deformac. Tangencial (mm)	Dial de Carga	Fuerza Cortante (Kg)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm^2)	Deformac. Tangencial (mm)	Dial de Carga	Fuerza Cortante (Kg)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm^2)
0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000
0.10	8.70	1.220	0.043	0.10	44.10	6.306	0.223	0.10	159.40	23.081	0.816
0.20	13.10	1.837	0.065	0.20	59.70	8.537	0.302	0.20	177.10	25.680	0.908
0.30	19.60	2.748	0.097	0.30	71.30	10.303	0.364	0.30	204.50	29.653	1.049
0.40	33.50	4.697	0.166	0.40	79.80	11.531	0.408	0.40	221.90	32.220	1.140
0.60	42.30	6.049	0.214	0.60	90.90	13.135	0.465	0.60	232.30	33.730	1.193
0.80	50.90	7.279	0.257	0.80	109.30	15.794	0.559	0.80	246.50	35.816	1.267
1.00	65.40	9.352	0.331	1.00	125.80	18.178	0.643	1.00	253.00	36.761	1.300
1.25	78.10	11.285	0.399	1.25	144.40	20.909	0.740	1.25	269.00	39.086	1.382
1.50	84.56	12.219	0.432	1.50	159.00	23.023	0.814	1.50	277.00	40.276	1.424
1.75	98.90	14.291	0.505	1.75	175.70	25.477	0.901	1.75	285.00	41.439	1.466
2.00	112.70	16.285	0.576	2.00	184.00	26.680	0.944	2.00	292.00	42.457	1.502
2.25	131.30	18.973	0.671	2.25	197.70	28.667	1.014	2.25	305.00	44.347	1.568
2.50	144.00	20.851	0.737	2.50	209.40	30.405	1.075	2.50	315.00	45.833	1.621
2.75	156.00	22.589	0.799	2.75	214.30	31.116	1.101	2.75	324.00	47.142	1.667
3.00	151.00	21.865	0.773	3.00	209.10	30.361	1.074	3.00	317.00	46.124	1.631
3.50	146.40	21.199	0.750	3.50	202.00	29.290	1.036	3.50	311.00	45.251	1.600
4.00	140.50	20.344	0.720	4.00	193.90	28.116	0.994	4.00	305.00	44.347	1.568
4.50	136.70	19.753	0.699	4.50	185.10	26.840	0.949	4.50	298.00	43.329	1.532
5.00	129.10	18.655	0.660	5.00	177.20	25.694	0.909	5.00	292.80	42.573	1.506
5.50	122.30	17.672	0.625	5.50	172.00	24.906	0.881	5.50	286.70	41.686	1.474
6.00	117.70	17.008	0.602	6.00	166.50	24.109	0.853	6.00	281.40	40.916	1.447
6.50	110.80	16.011	0.566	6.50	162.20	23.487	0.831	6.50	277.50	40.349	1.427

ENSAYADO

Tec. Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA

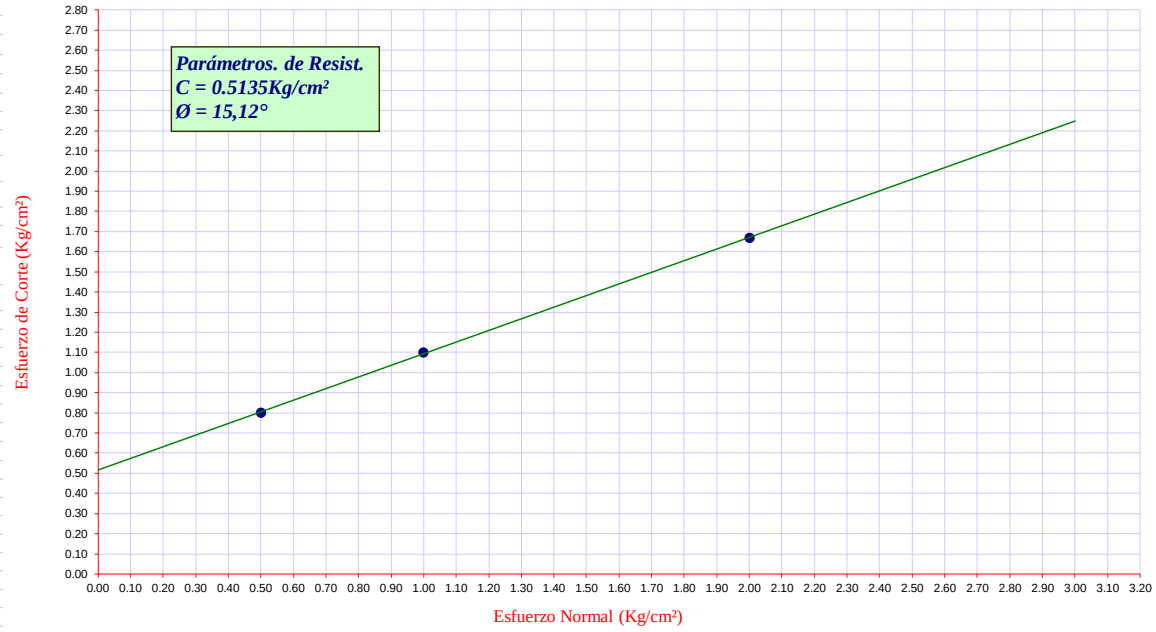
Ensayo de corte directo – Diagrama de falla

TECNOLOGIA AL SERVICIO DE LA INGENIERIA EN LA COSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE MATERIALES DISEÑOS Y MECÁNICA DE SUELOS

INFORME Nro.				0046		L-46
PROYECTO	Cierre delanillo (Vasco Cedeño)					
UBICACIÓN:	Sanid Domingo	0	0	FECHA		
SOLICITANTE:	0			26	Marzo	2020

Muestra Nro.	5	Perforación Nro.	46	ENSAYO DE CORTE DIRECTO	
Profundidad de la muestra(m)		5			
Clasificacion (SUCS)		M H			
Estado de la muestra de suelo		Inalterada	SI		
		Remoldeada			
Veloc. de Ensayo (mm/min)	0.5	Tiempo de Consolidación (hrs)	NINGUNA	(NORMA ASTM - D3080-98)	

ESFUERZO DE CORTE vs ESFUERZO NORMAL (CRITERIO DE LA FALLA DE MOHR - COULOMB)



ENSAYADO

Tec. Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA

- Vértice 7 tramo La Cadena Quevedo

Clasificación del suelo

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNIA
INFORME DE ENSAYO
REGISTRO DE PERFORACIÓN

N° DE ORDEN : 14

OBRA : CIERRE DEL ANILLO VIAL 69 KV SANTO DOMINGO
LOCALIZACIÓN : E 700465,76 N 9969460
SOLICITADO POR : CONSTRUCTORA VASCO CEDEÑO
FECHA : 3/20/2020

SECTOR: SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILA
PROFUNDIDAD: 15.00
PERFORACIÓN: 14
COTA DEL NIVEL NATURAL DEL TERRENO (m) : 493.04
Nivel Freático:NN m 10
Revestimiento:Si

MARTILLO UTILIZADO : Tipo Safety
DIAMETRO DE LA TUBERÍA : 75 mm

475 J
Energóa del Martillo 60 %

PROFUNDIDAD (metros)	COTA	CONTENIDO DE LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDA	% QUE PASA EL TAMIZ N° 40	% QUE PASA EL TAMIZ N° 200	% QUE PASA EL TAMIZ N° 4	CLASIFICACIÓN	CLASIFICACIÓN	TOMA MUESTR	15cm	30cm	45cm	NSPT	Nr	RECUPERACIÓN	N60	C (Kg/cm2)	Ø (grados)	γ (Kg/m3)	ESTRATIGRAFÍA	N corregido (60)	DESCRIPCIÓN MANUAL-VISUAL DEL SUELO
1.0	492.04							CH	E	cuchara partida	2	1	2	3	0.75	45.0	2	0.50	16	1418		2	De 1.00 a 1.50 .- Arcilla de alta plasticidad, color café habano, con oxidaciones, húmedo
2.0	491.04							CH	E	cuchara partida	2	2	2	4	0.75	45.0	2	0.50	16	1418		2	De 2.00 a 2.50 .- Arcilla de alta plasticidad, color café claro, húmedo
3.0	490.04	46	59	39	19	95	68	50	CH	E	cuchara partida	1	2	2	4	0.75	45.0	2	0.50	16	1418		2	De 3.00 a 3.50 .- Arcilla de alta plasticidad, color café claro, húmedo
4.0	489.04							CH	E	cuchara partida	2	2	2	4	0.75	45.0	2	0.50	16	1418		2	De 4.00 a 4.50 .- Arcilla de alta plasticidad, color café claro, con oxidaciones, húmedo
5.0	488.04	62	60	35	24	86	65	49	CH	E	cuchara partida	2	2	3	5	0.85	45.0	3	0.50	16	1418		2	De 5.00 a 5.50 .- Arcilla de alta plasticidad, color café claro, con manchas de carbón, húmedo
6.0	487.04							CH	E	cuchara partida	1	2	3	5	0.85	45.0	3	0.50	16	1418		3	De 6.00 a 6.50 .- Limo de alta plasticidad, color café habano, húmedo
7.0	486.04							CH	E	cuchara partida	2	2	4	6	0.95	45.0	5	0.50	16	1418		3	De 7.00 a 7.50 .- Limo de alta plasticidad, color café habano, con oxidaciones, húmedo
8.0	485.04							CH	E	cuchara partida	7	7	6	13	0.95	45.0	11	0.50	16	1418		5	De 8.00 a 8.50 .- Limo de alta plasticidad, color gris, con oxidaciones, húmedo
9.0	484.04							CH	E	cuchara partida	4	5	5	10	0.95	46.0	8	0.50	16	1418		11	De 9.00 a 9.50 .- Limo de alta plasticidad, color gris, con oxidaciones, húmedo
10.0	483.04	49	63	32	31	88	69	46	MH	E	cuchara partida	4	6	7	13	0.95	47.0	11	0.50	16	1418		8	De 10.00 a 10.50 .- Limo de alta plasticidad, color gris, Saturado
11.0	482.04							MH	E	cuchara partida	5	5	5	10	1.00	48.0	9	0.50	16	1418		11	De 11.00 a 11.50 .- Limo de alta plasticidad, color gris, Saturado
12.0	481.04							MH	D	cuchara partida	7	10	13	23	1.00	49.0	21	0.50	16	1418		9	De 12.00 a 12.50 .- Limo de alta plasticidad, color gris, Saturado
13.0	480.04							MH	D	cuchara partida	7	13	15	28	1.00	50.0	25	0.50	16	1418		21	De 13.00 a 13.50 .- Limo de alta plasticidad, color gris, Saturado
14.0	479.04							MH	D	cuchara partida	10	12	13	25	1.00	51.0	22	0.50	16	1418		25	De 14.00 a 14.50 .- Rechazo (pedazo de roca), color gris
15.0	478.04							MH	D	cuchara partida	11	12	13	25	1.00	52.0	22	0.50	16	1418		22	De 15.00 a 15.50 .- Rechazo

SIMBOLOGÍA :

M Limo
C Arcilla
S Arena
L Baja plasticidad
H Alta plasticidad

ML
SM
MH
CL
CH
ROCA
GRAVA
ARENA
NIVEL FREÁTICO
NIVEL DE CIMENTACIÓN
LÍMITE PLÁSTICO
CONTENIDO DE HUMEDAD
LÍMITE LÍQUIDO

Ensayo de corte directo

TECNOLOGIA AL SERVICIO DE LA INGENIERIA EN LA COSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE MATERIALES DISEÑOS Y MECÁNICA DE SUELOS

INFORME Nro.			**0015**	**L-15**
PROYECTO	Cierre delanillo (Vasco Cedeño)			
UBICACIÓN:	Santo Domingo	**FECHA**		
SOLICITANTE:		24	Marzo	2020

Muestra Nro.	3	Perforación Nro.	V7LC-Q	***ENSAYO DE CORTE DIRECTO***
Profundidad de la muestra(m)		3		
Clasificacion (SUCS)		M H		
Estado de la muestra de suelo		Inalterada	SI	
		Remoldeada		***(NORMA ASTM - D3080-98)***
Veloc. de Ensayo (mm/min)	0.5	Tiempo de Consolidación (hrs)	ninguna	

Datos		ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Altura (H)	cm	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65
Diámetro (Ø)	cm	6.59	6.59	6.59	6.59	6.59	6.59
Área	cm^2	34.11	34.11	34.11	34.11	34.11	34.11
Volumen (V)	cm^3	90.39	90.39	90.39	90.39	90.39	90.39
Peso	gr	134.86		138.63		140.62	
Densidad (Y)	gr/cm^3	1.49		1.53		1.56	
Humedad (w)	%	33.32		33.52		31.91	
Esfuerzo Normal	kg/cm^2	0.50		1.00		2.00	

Deformac. Tangencial (mm)	Dial de Carga	Fuerza Cortante (Kg)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm^2)	Deformac. Tangencial (mm)	Dial de Carga	Fuerza Cortante (Kg)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm^2)	Deformac. Tangencial (mm)	Dial de Carga	Fuerza Cortante (Kg)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm^2)
0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000
0.10	11.50	1.612	0.047	0.10	98.70	14.262	0.418	0.10	181.80	26.361	0.773
0.20	33.60	4.711	0.138	0.20	122.40	17.687	0.519	0.20	213.00	30.928	0.907
0.30	61.70	8.823	0.259	0.30	139.60	20.214	0.593	0.30	233.00	33.832	0.992
0.40	77.30	11.170	0.327	0.40	151.20	21.894	0.642	0.40	256.00	37.197	1.091
0.60	91.20	13.178	0.386	0.60	163.90	23.733	0.696	0.60	279.70	40.668	1.192
0.80	107.70	15.563	0.456	0.80	181.00	26.245	0.769	0.80	298.10	43.344	1.271
1.00	119.40	17.253	0.506	1.00	193.00	27.985	0.820	1.00	320.50	46.633	1.367
1.25	131.00	18.930	0.555	1.25	207.20	30.085	0.882	1.25	344.40	50.110	1.469
1.50	149.40	21.633	0.634	1.50	214.30	31.116	0.912	1.50	350.00	50.925	1.493
1.75	163.00	23.602	0.692	1.75	231.30	33.585	0.985	1.75	362.00	52.671	1.544
2.00	179.00	25.955	0.761	2.00	247.40	35.947	1.054	2.00	379.80	55.261	1.620
2.25	188.50	27.333	0.801	2.25	255.50	37.124	1.088	2.25	399.60	58.142	1.705
2.50	192.30	27.884	0.817	2.50	263.60	38.301	1.123	2.50	412.40	60.004	1.759
2.75	186.30	27.014	0.792	2.75	259.20	37.662	1.104	2.75	407.40	59.277	1.738
3.00	180.00	26.100	0.765	3.00	252.70	36.717	1.076	3.00	400.10	58.215	1.707
3.50	174.40	25.288	0.741	3.50	247.40	35.947	1.054	3.50	394.00	57.327	1.681
4.00	169.30	24.515	0.719	4.00	241.30	35.061	1.028	4.00	389.00	56.600	1.659
4.50	164.10	23.762	0.697	4.50	236.90	34.398	1.008	4.50	382.00	55.581	1.630
5.00	160.00	23.168	0.679	5.00	230.00	33.396	0.979	5.00	377.00	54.854	1.608
5.50	155.50	22.516	0.660	5.50	224.90	32.655	0.957	5.50	371.00	53.981	1.583
6.00	150.00	21.720	0.637	6.00	218.30	31.697	0.929	6.00	365.00	53.108	1.557
6.50	145.40	21.054	0.617	6.50	213.30	30.971	0.908	6.50	360.00	52.380	1.536

ENSAYADO

Tec. Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA

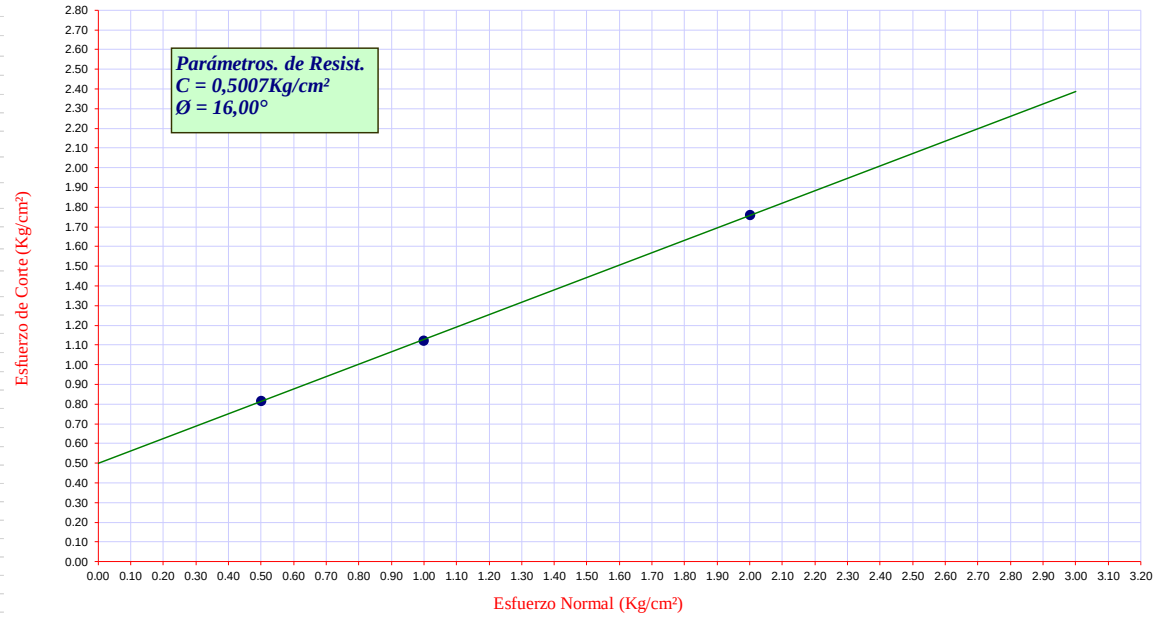
Ensayo de corte directo – Diagrama de falla

TECNOLOGIA AL SERVICIO DE LA INGENIERIA EN LA COSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE MATERIALES DISEÑOS Y MECÁNICA DE SUELOS

INFORME Nro.					0015		L-15
PROYECTO	Cierre delanillo (Vasco Cedeño)						
UBICACIÓN:	Santo Domingo	O	O	FECHA			
SOLICITANTE:	O			24	Marzo	2020	

Muestra Nro.	3	Perforación Nro.	V7LC-Q	ENSAYO DE CORTE DIRECTO
Profundidad de la muestra(m)		3		
Clasificacion (SUCS)		M H		
Estado de la muestra de suelo		Inalterada	SI	
		Remoldeada		
Veloc. de Ensayo (mm/min)	0.5	Tiempo de Consolidación (hrs)	NINGUNA	(NORMA ASTM - D3080-98)

ESFUERZO DE CORTE vs ESFUERZO NORMAL (CRITERIO DE LA FALLA DE MOHR - COULOMB)



ENSAYADO

Tec. Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA

- Vértice 10 Tramo Arca – El Carmen.

Clasificación del suelo

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNIA
INFORME DE ENSAYO
REGISTRO DE PERFORACIÓN

N° DE ORDEN : 35

OBRA : CIERRE DEL ANILLO VIAL 69 KV SANTO DOMINGO
LOCALIZACIÓN : E 699660,34 N 9973144,29
SOLICITADO POR : CONSTRUCTORA VASCO CEDEÑO
FECHA : 9/26/2020

SECTOR: SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS
PROFUNDIDAD: 15.00
PERFORACIÓN: V(A-CARM)10
COTA DEL NIVEL NATURAL DEL TERRENO (m) : 496.75
Nivel Freático:NN m **10**
Revestimiento:Si

MARTILLO UTILIZADO : Tipo Safety
DIAMETRO DE LA TUBERÍA : 75 mm

475 J
Energóa del Martillo 60 %

PROFUNDIDAD D (metros)	COTA	CONTENIDO	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	PLASTICIDAD	% QUE PASA EL TAMIZ N° 4	% QUE PASA EL TAMIZ N° 40	% QUE PASA EL TAMIZ N° 200	CLASIFICACIÓN	CLASIFICACIÓN NEC	TOMA MUESTRA	15cm	30cm	45cm	NSPT	Nr	RECUPERACIÓN	N60	C (Kg/cm2)	Ø (grados)	γ(Kg/m3)	ESTRATIGRAFÍA	N corregido (60)	DESCRIPCIÓN MANUAL-VISUAL DEL SUELO
1.0	495.75								MH	E	cuchara partida	6	6	5	11	0.75	45.0	7	0.51	29	1418		4	De 1.00 a 1.50 Arcilla de baja a media plasticidad de color café claro, presencia de gravas
2.0	494.75								MH	E	cuchara partida	7	7	8	15	0.75	45.0	10	0.51	29	1418		4	De 2.00 a 2.50 Arcilla de baja a media plasticidad de color café claro, presencia de gravas
3.0	493.75	33	65	26	38	91	74	53	MH	E	cuchara partida	8	8	9	17	0.75	45.0	11	0.51	29	1418		4	De 3.00 a 3.50 Arcilla de baja a media plasticidad de color café claro, presencia de gravillas
4.0	492.75								MH	E	cuchara partida	8	10	10	20	0.75	45.0	13	0.51	29	1418		3	De 4.00 a 4.50 Arcilla de baja a media plasticidad de color café verdoso, presencia de gravillas
5.0	491.75								MH	D	cuchara partida	10	12	11	23	0.85	45.0	17	0.51	29	1418		6	De 5.00 a 5.50 Arcilla de baja a media plasticidad de color café verdoso, presencia de gravillas
6.0	490.75								MH	D	cuchara partida	10	12	11	23	0.85	46.0	17	0.51	29	1418		7	De 6.00 a 6.50 Arcilla de baja a media plasticidad de color café verdoso, presencia de gravas y pómez
7.0	489.75	49	65	38	27	93	70	56	CH	D	cuchara partida	10	12	11	23	0.95	47.0	20	0.51	29	1418		5	De 7.00 a 7.50 Arcilla de baja a media plasticidad de color café verdoso, presencia de gravas y pómez
8.0	488.75								CH	D	cuchara partida	10	12	11	23	0.95	48.0	20	0.51	29	1418		6	De 8.00 a 8.50 Arcilla de baja a media plasticidad de color café verdoso, presencia de gravas y pómez
9.0	487.75								CH	D	cuchara partida	10	12	11	23	0.95	49.0	20	0.51	29	1418		13	De 9.00 a 9.50 Arcilla de baja a media plasticidad de color café verdoso, presencia de gravas y pómez
10.0	486.75	64	70	42	28	89	68	58	CH	D	cuchara partida	10	12	11	23	0.95	50.0	20	0.51	29	1418		7	De 10.00 a 10.50 Arcilla de baja a media plasticidad de color café verdoso, presencia de gravas y pómez
11.0	485.75								CH	D	cuchara partida	10	12	11	23	1.00	51.0	21	0.51	29	1418		7	De 11.00 a 11.50 Arcilla de baja a media plasticidad de color café verdoso, presencia de gravas y pómez
12.0	484.75								CH	D	cuchara partida	10	12	11	23	1.00	52.0	21	0.51	29	1418		20	De 12.00 a 12.50 Arcilla de baja a media plasticidad de color café verdoso, presencia de gravas y pómez
13.0	483.75								CH	D	cuchara partida	10	12	11	23	1.00	53.0	21	0.51	29	1418			De 13.00 a 13.50
14.0	482.75								CH	D	cuchara partida	10	12	11	23	1.00	54.0	21	0.51	29	1418			De 14.00 a 14.50
15.0	481.75								CH	D	cuchara partida	10	12	11	23	1.00	55.0	21	0.51	29	1418			De 15.00 a 15.50

SIMBOLOGÍA :

M Limo
C Arcilla
S Arena
L Baja plasticidad
H Alta plasticidad

ML
SM
MH
CL
CH
ROCA
GRAVA
ARENA
NIVEL FREÁTICO
NIVEL DE CIMENTACIÓN
LÍMITE PLÁSTICO
CONTENIDO DE HUMEDAD
LÍMITE LÍQUIDO

Ensayo de corte directo

TECNOLOGIA AL SERVICIO DE LA INGENIERIA EN LA COSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE MATERIALES DISEÑOS Y MECÁNICA DE SUELOS

INFORME Nro.				**0001**	**V10**
PROYECTO	ANILLO 69 KVA				
UBICACIÓN:	A CARMEN V10		**FECHA**		
SOLICITANTE:		29	SEPTIEMBRE	2020	

MUESTRA NRO.	7	PERFORACIÓN NRO.	V10	***ENSAYO DE CORTE DIRECTO***	
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA(M)		7			
CLASIFICACION (SUCS)		CH			
ESTADO DE LA MUESTRA DE SUELO		INALTERADA	SI		
		REMOLDEADA			
VELOC. DE ENSAYO (MM/MIN)	0.5	TIEMPO DE CONSOLIDACIÓN (HRS)	ninguna	***(NORMA ASTM - D3080-98)***	

DATOS		ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03	
		INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
ALTURA (H)	CM	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55
DIÁMETRO (Ø)	CM	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
ÁREA	CM^2	28.27	28.27	28.27	28.27	28.27	28.27
VOLUMEN (V)	CM^3	72.10	72.10	72.10	72.10	72.10	72.10
PESO	GR	113.50		114.10		116.90	
DENSIDAD (Y)	GR/CM^3	1.57		1.58		1.62	
HUMEDAD (W)	%	34.33		35.54		35.63	
ESFUERZO NORMAL	KG/CM^2	0.50		1.00		2.00	

	ESPECIMEN 01				ESPECIMEN 02				ESPECIMEN 03			
	Deformac. Tangencial (mm)	Dial de Carga	Fuerza Cortante (Kg)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm^2)	Deformac. Tangencial (mm)	Dial de Carga	Fuerza Cortante (Kg)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm^2)	Deformac. Tangencial (mm)	Dial de Carga	Fuerza Cortante (Kg)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm^2)
	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000
	0.10	22.30	3.126	0.111	0.10	55.60	7.951	0.281	0.10	127.10	18.366	0.650
	0.20	49.70	7.107	0.251	0.20	74.20	10.722	0.379	0.20	144.50	20.924	0.740
	0.30	59.10	8.451	0.299	0.30	98.20	14.190	0.502	0.30	160.40	23.226	0.821
	0.40	78.70	11.372	0.402	0.40	117.00	16.907	0.598	0.40	188.90	27.391	0.969
	0.60	99.60	14.392	0.509	0.60	129.70	18.742	0.663	0.60	202.20	29.319	1.037
	0.80	105.70	15.274	0.540	0.80	138.30	19.984	0.707	0.80	217.60	31.596	1.117
	1.00	110.40	15.953	0.564	1.00	159.40	23.081	0.816	1.00	233.70	33.933	1.200
	1.25	120.10	17.354	0.614	1.25	171.70	24.862	0.879	1.25	255.50	37.124	1.313
	1.50	128.70	18.597	0.658	1.50	185.60	26.912	0.952	1.50	267.30	38.839	1.374
	1.75	136.90	19.782	0.700	1.75	199.10	28.870	1.021	1.75	288.50	41.948	1.484
	2.00	144.10	20.866	0.738	2.00	206.60	29.957	1.060	2.00	301.30	43.809	1.549
	2.25	151.50	21.937	0.776	2.25	201.10	29.160	1.031	2.25	311.00	45.251	1.600
	2.50	146.30	21.184	0.749	2.50	193.10	28.000	0.990	2.50	302.70	44.013	1.557
	2.75	138.30	19.984	0.707	2.75	181.20	26.274	0.929	2.75	295.60	42.980	1.520
	3.00	131.30	18.973	0.671	3.00	174.90	25.361	0.897	3.00	289.10	42.035	1.487
	3.50	125.20	18.091	0.640	3.50	166.30	24.080	0.852	3.50	283.40	41.206	1.457
	4.00	117.60	16.993	0.601	4.00	159.20	23.052	0.815	4.00	277.10	40.290	1.425
	4.50	112.00	16.184	0.572	4.50	151.20	21.894	0.774	4.50	268.10	38.955	1.378
	5.00	108.90	15.736	0.557	5.00	144.80	20.967	0.742	5.00	259.50	37.705	1.334
	5.50	100.10	14.464	0.512	5.50	137.30	19.840	0.702	5.50	252.50	36.688	1.298
	6.00	95.40	13.785	0.488	6.00	130.30	18.828	0.666	6.00	245.10	35.613	1.260
	6.50	89.10	12.875	0.455	6.50	122.80	17.745	0.628	6.50	238.10	34.572	1.223

ENSAYADO

Tec. Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA

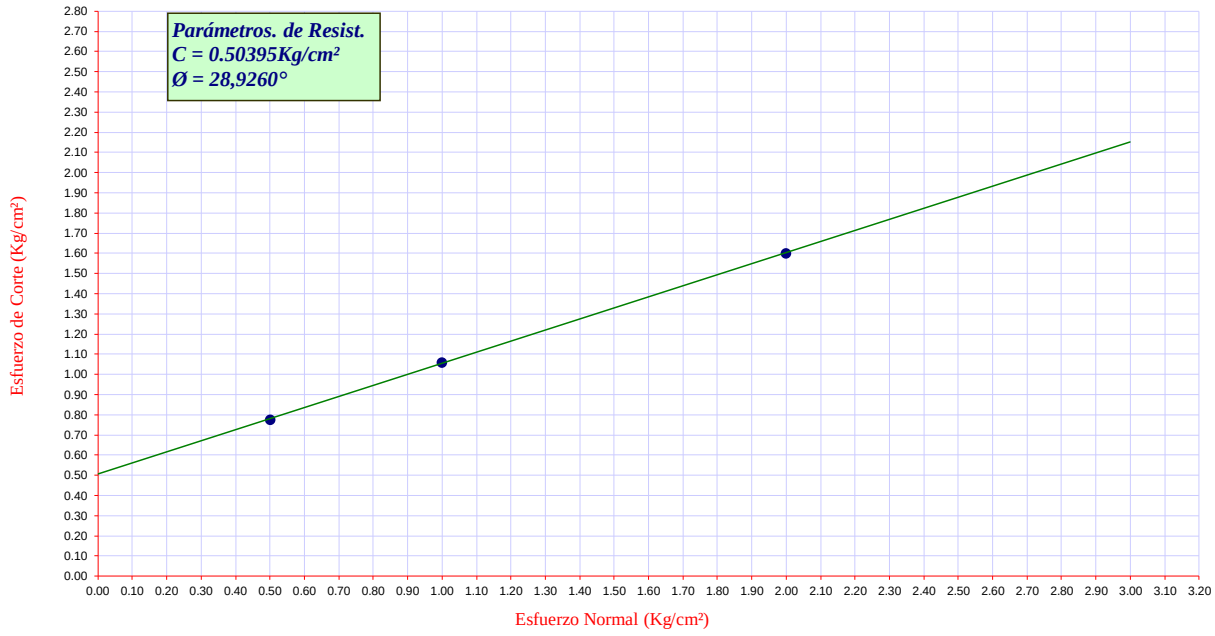
Ensayo de corte directo – Diagrama de falla

TECNOLOGIA AL SERVICIO DE LA INGENIERIA EN LA COSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE MATERIALES DISEÑOS Y MECÁNICA DE SUELOS

INFORME Nro.				**0001**	
PROYECTO	ANILLO 69 KVA				**V10**
UBICACIÓN:	A CARMEN V10		**FECHA**		
SOLICITANTE:	D		29	SEPTIEMBRE	2020

MUESTRA NRO.	7	PERFORACIÓN NRO.	V10	**ENSAYO DE CORTE DIRECTO**
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA(M)		7		
CLASIFICACION (SUCS)		CH		
ESTADO DE LA MUESTRA DE SUELO		INALTERADA	SI	
		REMOLDEADA		
VELOC. DE ENSAYO (MM/MIN)	0.5	TIEMPO DE CONSOLIDACIÓN (HRS)	NINGUNA	(NORMA ASTM - D3080-98)

ESFUERZO DE CORTE vs ESFUERZO NORMAL (CRITERIO DE LA FALLA DE MOHR - COULOMB)



ENSAYADO

Tec. Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA